Surveillance des pulvérisations aériennes
d'insecticides contre la tordeuse
des bourgeons de l'épinette, au Québec en 1984

L'ELIMINATION DES DECHETS DE PESTICIDE

Par: Gilles Bacquet*

*Mémoire de Maîtrise ès sciences appliquées
spécialité: génie de l'environnement
Université de Sherbrooke

Ministère de l'Energie et des Ressources
Direction de la Conservation

Service d'entomologie et
de pathologie

Dr. Jean-Guy Davidson, ing. for,
Chef

Division environnement et
sécurité

Gilles Gaboury, biol.
responsable

Février 1985

RESUME

Le ministère de l'Energie et des Ressources du Québec est responsable depuis plus de 15 ans du programme de pulvérisations aériennes contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. La nature et la quantité des déchets engendrés par les campagnes d'arrosages successives demandent des mesures qui dépassent le cadre normal du programme de lutte. La présente étude est donc une première étape vers l'élaboration d'une politique de gestion des déchets. Nous présentons tout d'abord le cadre législatif en vigueur en Amérique du Nord et en Europe. Ensuite, nous faisons une synthèse de la technologie de l'élimination des déchets organiques dangereux. Ceci nous permet finalement de proposer une politique de gestion, d'abord à court terme puis à long terme. Le cas de l'insecticide biologique Bacillus thuringiensis est traité séparément.

ABSTRACT

For over 15 years now, the Quebec Ministry of Energy and Resources has supervised the Aerial Spraying Program against Spruce Budworm. However, the nature and amount of waste produced each year require action beyond that of the initial program. This study is therefore the first step toward elaborating an adequate waste administration policy. Foremost, it introduces the European and North American legislative frameworks. Then, an evaluation of hazardous organic waste disposal technology. Thus, allowing us to suggest short and long term waste disposal policies. The case regarding the biological insecticide, Bacillus thuringiensis, is delt with separately.

AVANT-PROPOS

Le travail présenté est le produit d'un stage de quatre mois qui s'est déroulé au sein du Service d'entomologie et de pathologie du ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.

J'étais rattaché à la division Environnement et Sécurité dont le rôle principal est de mesurer les impacts environnementaux du programme de pulvérisations aériennes contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. La division veille aussi à la sécurité des opérations sur le terrain et en particulier celles concernant l'emploi de produits anti-parasitaires.

Cette expérience de travail en milieu professionnel aura largement contribué à ma formation dans le domaine de la protection de l'environnement.

J'adresse mes remerciements à Monsieur Gilles GABOURY, chef de la division, qui a été l'initiateur de ce stage.

Je voudrais aussi remercier Messieurs Pierre-Martin MAROTTE, Guy MAMARBACHI, Marc THEBERGE et Jean CABANA pour leurs nombreux conseils.

Que tous ceux et celles avec qui j'ai eu le plaisir de travailler durant ce stage trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Enfin, je remercie Monsieur Marc BEERLI, professeur au Département de génie chimique, qui a corrigé ce travail.

TABLE DES MATIERES

RESUME..... i
AVANT-PROPOS..... ii
TABLE DES MATIERES..... iii
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX..... v
INTRODUCTION..... 1

PREMIERE PARTIE: LA LEGISLATION

CHAPITRE I - LES ASPECTS LEGISLATIFS CANADIENS..... 4
I.1 Les lois fédérales..... 4
I.2 Québec..... 7
I.3 Ontario..... 13
I.4 Saskatchewan..... 15
I.5 Alberta..... 15
I.6 Colombie-Britanique..... 17
I.7 Nouveau-Brunswick..... 17
I.8 Ile du Prince Edouard..... 18
I.9 Terre-Neuve..... 18
CHAPITRE II - LOIS ET REGLEMENTATIONS ETRANGERES..... 19
II.1 Aux Etats-Unis..... 19
II.2 En France..... 21
II.3 En Allemagne Fédérale..... 22
II.4 En Suède..... 23
CHAPITRE III - LE CAS DE L'INSECTICIDE BIOLOGIQUE
Bacillus thuringiensis (B.t.)..... 25
III.1 La situation internationale..... 26
III.2 Au Canada..... 27
III.3 Autres provinces..... 28
III.4 Au Québec..... 29
CONCLUSION..... 30

DEUXIEME PARTIE - LA TECHNOLOGIE

CHAPITRE I - METHODES D'ELIMINATION THERMIQUES..... 32
I.1 Incinération..... 32
I.2 Pyrolyse..... 45
I.3 La technique du plasma..... 50

CHAPITRE II - TRAITEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES..... 59
II.1 Hydrolyse chimique..... 59
II.2 Oxydation en air humide..... 61
II.3 Procédé d'ozonation et d'irradiation dans l'ultra-violet..... 64
CHAPITRE III - TRAITEMENTS BIOLOGIQUES..... 70
III.1 Généralités..... 70
III.2 Boues activées..... 70
III.3 Lits fluidisés..... 73
III.4 Compostage..... 73
III.5 Détoxication enzymatique..... 76
III.6 Inoculum de bactéries mutées..... 79
CHAPITRE IV - UTILISATION DU SOL..... 84
IV.1 Incorporation dans le sol..... 84
IV.2 Enfouissement..... 86
IV.3 Injection en puit profond..... 88
CHAPITRE V - EVALUATION ECONOMIQUE DES PROCEDES..... 90
CONCLUSION..... 92

TROISIEME PARTIE : LA GESTION

CHAPITRE I - IDENTIFICATION DES DECHETS..... 97
CHAPITRE II - PROPOSITIONS POUR UNE POLITIQUE DE GESTION..... 101
II.1 Les contenants..... 101
II.2 Solutions à court terme..... 103
II.3 Politique à long terme..... 104
II.4 Elimination des déchets de B.t..... 116
CONCLUSION..... 118
CONCLUSION GENERALE..... 120
ANNEXES..... 122
BIBLIOGRAPHIE..... 132

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1 :	Incinérateur à four rotatif.....	35
Figure 2 :	SERDOQ.....	36
Figure 3 :	Combustion dans un bain de sels en fusion.....	39
Figure 4 :	La pyrolyse.....	47
Figure 5 :	Procédé pyrolytique pour déchets organiques.....	49
Figure 6 :	Description du procédé Pyroplasma.....	52
Figure 7 :	Unité mobile du Pyroplasma.....	53
Figure 8 :	Procédé de plasma à micro-ondes.....	57
Figure 9 :	Hydrolyse chimique de quelques pesticides.....	60
Figure 10 :	Oxydation humide.....	62
Figure 11 :	Le procédé d'oxydation humide ZIMPRO.....	65
Figure 12 :	Procédé ozone/U-V.....	67
Figure 13 :	Station pilote d'épuration biologique.....	72
Figure 14 :	Bioréacteur à lit fluidisé.....	72
Figure 15 :	Evolution des concentrations de pesticides au cours du compostage.....	74
Figure 16 :	Procédé industriel de compostage.....	75
Figure 17 :	Métabolisme microbiens de pesticides aromatiques.....	77
Figure 18 :	Injection en puit profond.....	89
Figure 19 :	Dispositions des contenants vides.....	102
Figure 20 :	Option 1 - Incinération à four rotatif.....	107
Figure 21 :	Option 2 - Incinération à sels en fusion.....	109
Figure 22 :	Option 3 - Pyrolyseur.....	111
Figure 23 :	Option 4 - Plasma.....	112
Figure 24 :	Option 5 - Oxydation biophysiqye.....	114
Figure 25 :	Option 6 - Oxydation biochimique.....	115
Figure 26 :	Présentation schématique simplifiée des alternatives de gestion.....	119

TABLEAU I : Pourcentage de destruction lors de la combustion de certains pesticides..... 33
TABLEAU II : Combustion du malathion et du D.D.T..... 41
TABLEAU III : Identification des produits testés..... 56
TABLEAU IV : Destruction de déchets organiques par plasma à micro-ondes.. 58
TABLEAU V : Elimination des pesticides par ozonation/U-V..... 69
TABLEAU VI : Dégradation enzymatique des pesticides..... 78
TABLEAU VII : Biodégradation par bactéries mutées..... 81
TABLEAU VIII: Performances d'un bassin d'aération ensemencé avec Phénobac^{MD}..... 83
TABLEAU IX : Mobilité relative des pesticides dans le sol..... 87
TABLEAU X : Coûts d'opération..... 91
TABLEAU XI : Comparaison technique, environnementale et économique des méthodes d'élimination..... 93
TABLEAU XII : Liste des produits incorporés aux préparations..... 98
TABLEAU XIII: Analyse par CPG/SM des préparations de Matacil, fénitrothion et de tapis absorbants..... 100

INTRODUCTION

Le problème de l'élimination des déchets de pesticides préoccupe depuis plusieurs années le ministère de l'Energie et des Ressources du Québec (M.E.R.). Ce dernier est depuis plus de 15 ans responsable du programme de lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) au Québec, dont l'épidémie ravage les forêts de l'Est du Canada et des Etats-Unis. Ce programme est assuré par le Service d'entomologie et de pathologie, qui est aussi chargé du suivi environnemental suite aux pulvérisations d'insecticides chimiques et biologiques choisis pour lutter contre l'épidémie.

La réalisation de ce programme nécessite des moyens logistiques considérables parmi lesquels la gestion des produits anti-parasitaires occupe une place importante. Chaque manipulation de produits est susceptible de générer des déchets de forme et composition diverses: solide ou liquide, pur ou en préparation, concentré ou dilué, soluble dans l'eau ou non. De plus, il ne s'agit pas seulement de l'ingrédient actif, mais plutôt de l'ensemble des constituants qui composent la préparation qui sera pulvérisée: insecticide, dispersant, émulsifiant, solvant, colorant et autres additifs. En plus, des matériaux seront parfois utilisés pour récupérer les déchets tels des tapis absorbants et des granules.

La nature et la quantité des déchets engendrés par les campagnes successives d'arrosages demandent des mesures qui dépassent le cadre normal du programme de lutte contre la T.B.E. La présente étude est donc une première étape vers l'élaboration d'un programme de gestion des déchets. Nous aborderons dans un premier temps les aspects législatifs qui touchent directement ou indirecte-

ment le sujet, au Canada comme ailleurs. La deuxième partie du rapport est une synthèse bibliographique qui porte sur la technologie existant dans le domaine de l'élimination des déchets toxiques et dangereux. Nous avons tenté de rassembler l'information scientifique et technique qui répond de façon spécifique à nos préoccupations. A la lumière de ces informations, nous serons en mesure de proposer des solutions techniques qui intègrent les facteurs environnementaux et économiques, afin d'éliminer de façon sécuritaire les déchets de pesticides engendrés par le programme de pulvérisations aériennes contre la TBE.

1ERE PARTIE: LA LEGISLATION

CHAPITRE I - LES ASPECTS LEGISLATIFS CANADIENS

I.1 Les lois fédérales

S'il existe plusieurs lois, règlements et arrêtés fédéraux qui portent sur la vente et l'utilisation des pesticides, le problème des déchets de pesticides n'est pas abordé de façon spécifique.

Toutefois, au moins trois lois fédérales font mention des pesticides et de leur présence dans l'environnement.

I.1.1 Loi sur les contaminants de l'environnement

La loi établit une liste de 24 ingrédients actifs de produits antiparasitaires faisant l'objet d'une surveillance et d'un suivi environnemental par Agriculture Canada et Environnement Canada dans tout le pays. Le Gouverneur en conseil peut prendre des mesures nécessaires pour régir ou restreindre l'utilisation d'un produit chimique si aucune autre disposition législative ne permet de limiter le danger que peut constituer cette substance. Cette loi est donc destinée à appuyer les autres lois fédérales et provinciales.

I.1.2 Loi sur l'immersion de déchets en mer

Dans le but de protéger la pêche et les activités de plein air contre la pollution causée par l'immersion de déchets en mer, la Loi oblige quiconque veut immerger des déchets en mer à se procurer un permis et à en respecter les conditions.

L'immersion des composés organohalogénés est prohibée sauf dans des circonstances particulières (Ocean Dumping Control Regulation, art. 5 (a)). Les autres pesticides et leurs sous produits font partie des substances à usage restreint (annexe II de la loi).

I.1.3 Loi sur les ressources en eau du Canada

Parmi les recommandations pour la qualité de l'eau potable (Santé et Bien-Etre Social Canada 1978), on retrouve un tableau qui précise les concentrations maximales et souhaitées en pesticides.

Pesticide	Concentration maximum acceptable (mg/l)	Concentration souhaitée (mg/l)
Aldrine/Dieldrinee	0.0007	5.10^{-8}
Carbaryl	0.07	5.10^{-4}
Chlordane (isomères totaux)	0.007	5.10^{-8}
DDT (isomères totaux)	0.03	5.10^{-8}
Diazinon	0.014	1.10^{-6}
Endrin	0.0002	5.10^{-8}
Epoxyde d'heptachlore et Heptachlore	0.003	5.10^{-8}
Lindane	0.004	1.10^{-7}
Méthoxychlore	0.1	5.10^{-8}
Méthyl Parathion	0.007	1.10^{-6}
Parathion	0.035	1.10^{-6}
Toxaphène	0.005	5.10^{-8}
2,4-D	0.1	1.10^{-3}
2,4,5-T	0.01	1.10^{-3}
Pesticides totaux	0.1	

I.1.4 L'élimination des pesticides et de leurs contenants

En l'absence de loi ou de réglementation fédérale concernant l'élimination des pesticides (déchets, surplus...) et de leurs contenants, le gouvernement agit en collaboration avec les provinces. Les ministères fédéraux de l'Agriculture et de l'Environnement prescrivent des méthodes de manutention, de collecte, de stockage et d'élimination.

Lors de l'homologation d'un nouveau produit antiparasitaire, le fabricant doit fournir des renseignements sur la décontamination, les méthodes d'élimination, les techniques de détoxication ou de neutralisation et les méthodes de nettoyage.

I.2 Québec

I.2.1 La Loi sur la qualité de l'environnement

La présence de déchets de pesticides dans l'environnement va à l'encontre de la Loi sur la qualité de l'environnement(L.R.Q., c. Q-2) et en particulier de l'article 20 de la Loi qui dit:

> "Nul ne doit émettre, déposer, dégager ou rejeter ni permettre l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement d'un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement.
>
> La même prohibition s'applique à l'émission, au dépôt, au dégagement ou au rejet de tout contaminant, dont la présence dans l'environnement est prohibée par règlement du gouvernement ou est susceptible de porter atteinte à la vie, à la santé, à la sécurité, au bien-être ou au confort de l'être humain, de causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité du sol, à la végétation, à la faune ou aux biens."

I.2.2 Etude d'impact

Depuis 1978, certains projets sont soumis à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (section IV.1 de la Loi). Dans le règlement correspondant (R.R.Q., cQ-2, r.9) " l'implantation ou l'agrandissement d'un lieu d'élimination de déchets toxiques " est assujetti à la procédure d'étude d'impact (art. 2, paragraphe t), afin d'obtenir un certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la Loi.

I.2.3 La réglementation sur les déchets

Le règlement sur les déchets solides (R.R.Q., cQ-2, r14) en vigueur depuis le 10 mai 1978 exclut les pesticides (art. 1,paragraphe e). Cela signifie que les sites d'enfouissement québécois ne sont pas conçus pour recevoir des déchets toxiques, donc des résidus de pesticides.

Le règlement des déchets liquides adopté en 1975 (R.R.Q., cQ-2, r13) a pour objet l'enlèvement, le transport, l'entreposage et l'élimination des déchets liquides. Toute personne qui désire effectuer une de ces opérations doit obtenir auparavant un certificat de conformité et un permis d'exploitation (art. 54 et 55 de la Loi).

Le responsable d'un déversement, même accidentel, dans l'environnement doit procéder au nettoyage de ce déversement (art. 9 du règlement).

Si le mode d'élimination choisi est l'incinération, les émissions gazeuses ne doivent pas dépassées 150 ppm (en volume) d'acide chlorhydrique dans l'atmosphère. Un incinérateur qui traite des substances halogénées doit donc posséder un dispositif réduisant les émissions de produits halogénés (art. 22 du règlement).

I.2.4 Le règlement sur l'eau potable

Paru dans la Gazette officielle du 30 mai 1984, le règlement sur l'eau potable est en vigueur depuis le 1er juin 1984. En vertu du paragraphe e de l'article 87 de la Loi sur la qualité de l'environnement, le règlement prescrit les conditions de salubrité de la production et de la distribution de l'eau et de la glace à des fins commerciales. La section

II du règlement définit les normes de potabilité, en particulier l'article 6 relativement à la présence de substances organiques qui touche essentiellement aux pesticides:

Substances	Concentration maximale permise (mg/l)
2, 4 - D	0.10
2, 4, 5 - TP	0.010
aldrine et dieldrine	0.00070
carbaryl	0.070
carbofurane	0.070
chlordane (isomères totaux)	0.0070
DDT (isomères totaux)	0.030
diazinon	0.0140
diquat	0.050
endrine	0.00020
époxyde d'heptachlore et heptachlore	0.0030
fénitrothion	0.0070
lindane	0.0040
méthoxychlore	0.10
méthyl parathion	0.0070
paraquat	0.0070
parathion	0.035
piclorame	0.0010
toxaphène	0.0050

D'autre part, il est précisé que la concentration totale de tous les pesticides présents dans l'eau ne doit pas dépasser 0.100 mg/l.

1.2.5 L'action du ministère de l'Environnement

Deux projets reliés directement ou indirectement à l'élimination des déchets de pesticides sont actuellement à l'étude du ministère de l'Environnement.

Le premier document est une directive prescrivant les renseignements à fournir lors d'une demande d'autorisation et qui présente des normes et exigences utilisées pour juger de l'acceptabilité d'un projet de pulvérisation (Gouvernement du Québec, Ministère de l'environnement, Directive no 17). Des recommandations sont faites concernant l'élimination des solutions de rinçage, des surplus, des produits et des contenants vides: les réservoirs vides sont rincés trois fois avec le diluant de la préparation et les solutions de rinçage doivent être appliquées sur l'aire déjà traitée; les contenants vides et nettoyés peuvent être recyclés ou éliminés à un lieu autorisé d'enfouissement sanitaire après avoir été perforés ou rendus inutilisables; les surplus sont conservés pour une prochaine application; enfin, les produits avariés ou non utilisables ainsi que les matériaux absorbants contaminés doivent être conservés dans des contenants sécuritaires clairement identifiés jusqu'à la mise en plan d'un mécanisme de récupération pour ce type de déchets.

Le deuxième projet est un premier pas vers la gestion des déchets dangereux qui inclut certains pesticides. Il s'agit d'un nouveau règlement qui abrogera celui portant sur les déchets liquides. Cette législation répond à deux objectifs principaux: déterminer et classifier les substances considérées comme étant toxiques et contrôler la circulation des déchets dangereux à partir du producteur jusqu'à son élimination.

La politique du ministère de l'Environnement en matière d'élimination des déchets dangereux est axée sur deux pôles principaux: la solidification de la fraction inorganique par STABLEX et l'incinération de la fraction organique par SERDOC. Le premier est en action depuis le 1er juin 1983 et le deuxième est en cours d'élaboration. Les directives du ministère pour l'incinération de déchets industriels et des déchets toxiques sont les suivantes:

Tout d'abord, la température de combustion doit être égale ou supérieure à:

- 1000°C, pour des déchets organo non-halogénés;
- 1250°C, pour des déchets organo-halogénés, pendant au moins 2.5 secondes et avec un excès d'oxygène minimal de 3%.

De plus, les émissions atmosphériques ne doivent contenir plus de:

- 50 mg/m^3 en matières particulières;
- 75 mg/m^3 en HCl;
- 5 mg/m^3 en HBr et HF;
- 200 mg/m^3 en SO_2;
- 100 mg/m^3 en P_2O_5.

Enfin, l'efficacité de combustion doit être de 99.9% et celle de destruction et d'enlèvement de:

- 99.99% pour les déchets non cancérigènes;
- 99.9999% pour les déchets cancérigènes.

Auparavant, c'était l'incinérateur de la compagnie TRICIL situé à Ville Ste-Catherine qui brûlait la plupart des déchets liquides de la province. Aujourd'hui, cet incinérateur ne satisfait plus aux exigences du ministère de l'Environnement en matière d'émissions atmosphériques. Toutefois, la compagnie accepte les déchets liquides organiques non-halogénés et s'est engagée à installer des équipements pour l'épuration des gaz de combustion (TRICIL, communication personnelle, 1984).

1.3 Ontario

Il est fait mention des déchets dangereux ou toxiques dans le règlement général de la gestion des déchets (R.R.Q. 1980, Reg. 309) de la Loi de la protection de l'environnement. Cette réglementation indique des normes pour la localisation et le fonctionement des sites d'enfouissement, des incinérateurs et des dépotoirs.

La province de l'Ontario souhaite ne pas dépasser les concentrations de pesticides suivantes dans le milieu aquatique:

Pesticide	Concentration maximum (µg/l) souhaitée
Aldrine/Dieldrine	0.001
DDT	0.003
Endrin	0.002
Epoxyde d'heptachlore et heptachlore	0.001
Lindane	0.01
Toxaphène	0.008
Parathion	0.008
Diquat	0.5
2,4-D	4.0
Chlordane	0.06
Diazinon	0.08
Endosulphane	0.003
Malathion	0.1
Méthoxychlore	0.04

(Ontario Water Resources Act - Water management: goals, objectives, policies and implementation procedures of the Ministry of the environment.)

Enfin, depuis 1980, l'action du gouvernement de l'Ontario s'appuie sur la Loi sur les pesticides dont la réglementation recommande des méthodes de disposition de certains déchets: les contenants vides doivent être transpercés ou rendus inutilisables puis enterrés ou brûlés sécuritairement dans le cas de contenants en papier ou carton. Auparavant, les contenants auront été décontaminés (art. 25 du règlement).

Dans le cas d'un déversement accidentel, le contenant et son produit doivent être enterrés sans risque de contaminer les eaux de surface et souterraines et le lieu du déversement doit être nettoyé (art. 26 du règlement).

D'autre part, le ministère de l'Environnement dans son bulletin "Facts about pesticides" (numéro 30-01-04 de février 1983) recommande le rinçage des contenants avant leur enfouissement dans un site approuvé ou en vertu de l'article 25 du règlement et identifie des compagnies susceptibles de récupérer les contenants.

1.4 Saskatchewan

1.4.1 Le règlement sur les déversements dans l'environnement

Dans le cadre de la Loi sur le ministère de l'Environnement, le règlement sur le contrôle des déversements dans l'environnement (R.R.S. 1981, C.D-14, Reg. 1) identifie la quantité minimum nécessitant une intervention, pour plus de cinquante biocides organiques. Le responsable du déversement doit prendre toutes les mesures pour stopper et contenir

le contaminant, minimiser les impacts et restaurer l'aire affectée (art. 8 du règlement). Nul ne peut disposer du contaminant qui a été déversé sans l'approbation du ministre de l'Environnement.

1.4.2 La loi sur les produits antiparasitaires

Adoptée en 1973, la Loi a été suivie d'une réglementation qui cohsacre un article à la gestion des contenants et des produits inutilisés: on peut déposer des produits contenant des pesticides ou des réceptacles ayant contenu des pesticides, dans certains sites avec l'accord du ministère de la Santé, ou bien sur la propriété de l'acheteur ou encore sur un terrain privé suivant les instructions du propriétaire. Les déchets de pesticides ou les contenants endommagés, périmés ou partiellement remplis doivent être stockés de façon sécuritaire ou être détruits ou décontaminés suivant les indications du fabricant (art. 9 du règlement).

1.5 Alberta

1.5.1 Loi sur les produits chimiques agricoles

En l'absence de règlement, les déchets et contenants de pesticides doivent être traités suivant les recommandations du fabricant ou du ministre de l'Environnement (art. 10 de la Loi).

Tout déversement accidentel dans l'environnement doit être notifié au ministre de l'Environnement; le responsable doit appliquer les mesures dictées par le Directeur du contrôle de la pollution pour nettoyer et décontaminer les lieux (art. 11 de la Loi).

1.5.2 Le règlement sur la vente, la manutention et l'utilisation des pesticides.

Le règlement impose l'enfouissement sanitaire ou tout autre recommandation du fabricant ou du ministre de l'Environnement pour l'élimination des déchets et des contenants, hormis ceux claissifiés comme produits domestiques d'après la Loi fédérale sur les produits antiparasitaires (art. 26 du règlement).

1.6 Colombie-Britannique

En vertu de l'article 41 du règlement sur le contrôle des pesticides, on ne peut éliminer des pesticides, enfouir, décontaminer ou disposer autrement des contenants qu'en accord avec les instructions du fabricant. En l'absence d'instructions, le mode d'élimination choisi ne devra pas créer d'effets irréversibles pour l'environnement.

1.7 Nouveau-Brunswick

L'élimination des déchets de pesticides et de leurs contenants est abordée dans le règlement général de la Loi sur le contrôle des pesticides (N.B. reg. 83-57).

En cas de déversement accidentel, le propriétaire ou le transporteur prévient immédiatement un inspecteur et exécute ses instructions pour nettoyer et décontaminer l'aire polluée (art. 37 du règlement).

Les contenants de petit volume et l'ensemble de l'équipement en contact avec les pesticides doivent être rincés trois fois et la solution de rinçage sera incorporée au volume de formulation (art. 40 du règlement).

Les contenants et appareillages usagés sont éliminés soit par enfouissement sans risque de contaminer les eaux, soit suivant les recommandations du fabricant, soit d'une façon approuvée par les autorités (art. 41 du règlement).

Les contenants d'une capacité de deux cents litres ou plus seront retournés si possible au fabricant pour une éventuelle réutilisation (art. 42 du règlement).

Les pesticides non-utilisés seront éliminés tel qu'indiqué par le fabricant ou d'une façon approuvée par les autorités (art. 43 du règlement).

1.8 Ile du Prince Edouard

L'article 9 de la Loi sur les produits chimiques agricoles interdit toute opération d'élimination autre que celles recommandées par règlement ou par l'Association canadienne des produits chimiques agricoles.

Selon le règlement sur les produits chimiques agricoles, les méthodes de traitement de pesticides ou solution contenant des pesticides ainsi que l'élimination des équipements et contenants usagés sont celles indiquées par le fabricant et imprimées sur l'étiquette du produit.

1.9 Terre-Neuve

La Loi sur le contrôle des pesticides, en vigueur depuis 1970, interdit tout moyen de traitement ou d'élimination de pesticides et de leurs contenants qui n'est pas prescrit par règlement, ou sinon, qui n'est pas recommandé par le fabricant (art. 9). Personne ne peut laver ou immerger dans les eaux de surface les équipements et contenants de pesticides (art. 10, paragraphe 1). Toute matière qui a été contaminée par un pesticide peut être, par ordre du ministre de l'Environnement, retirée de la circulation de façon provisoire ou permanente ou bien détruite ou rendue inoffensive.

CHAPITRE II - LOIS ET REGLEMENTATIONS ETRANGERES

II.1 Aux Etats-Unis

C'est sans doute le pays qui a le plus légiféré en matière de traitement et d'élimination de déchets de pesticides. Nous ne toucherons ici que la législation fédérale qui a été mise en place depuis presque dix ans par l'Agence de la Protection de l'Environnement (E.P.A.).

II.1.1 La Loi sur la conservation et la récupération des ressources (R.C.R.A.).

En vigueur depuis le mois d'octobre 1976, le chapitre "C" de la Loi est consacré à la gestion des déchets dangereux. Les trois objectifs suivants sont visés: tout d'abord, l'identification et la publication d'une liste de déchets dangereux, dans laquelle on retrouve des pesticides (SEC 30001). Ensuite, développer une procédure de contrôle au niveau de la génération, du transport et du traitement de ces déchets, par un système de manifestes spécifiques à chaque opération (SEC 3002, 3003, 3004). Enfin, la Loi oblige désormais toute personne qui stocke ou traite des déchets reconnus dangereux à obtenir au préalable un permis délivré par l'E.P.A.

II.1.2 Le règlement sur l'élimination des déchets de pesticides et leurs contenants.

La première loi fédérale portant sur les pesticides - la Loi sur les insecticides, fongicides et rodenticides (F.I.F.R.A, 1947) - n'abordait

pas les problèmes du stockage ou de l'élimination des produits. Plus tard, la Loi fédérale sur le contrôle des pesticides dans l'environnement, de 1972, vient compléter et élargir la F.I.F.R.A par un contrôle sur le stockage et l'élimination des déchets, surplus et contenants de pesticides. En vertu de l'article 19 (a), l'E.P.A est tenue d'établir des procédures et des règlements dans ce sens. Ainsi, est paru le règlement sur les méthodes d'élimination des pesticides et leurs contenants, au mois de mai 1974.

Six méthodes sont recommandées pour l'élimination des pesticides organiques (à l'exclusion des organo-métalliques):

- l'incinération;
- l'enfouissement dans un site autorisé;
- épandage sur le sol
- destruction / détoxication chimique;
- injection en puit profond (en dernier recours)
- le stockage temporaire.

Les contenants combustibles peuvent être éliminés suivant l'une des deux premières méthodes proposées. Les autres, non combustibles, doivent d'abord être rincés trois fois. Ensuite, on peut soit les retourner au vendeur s'ils sont dans un bon état, soit les diriger vers la récupération, soit les éliminer par enfouissement ou incinération.

Enfin, les résidus ou solutions de rinçage sont répandus sur l'aire traitée ou bien traités suivant l'une des six méthodes précédentes.

II.2 En France

En matière de pesticides, la situation législative et réglementaire est satisfaisante du point de vue de la vente mais elle est moins bonne en ce qui concerne l'utilisation des produits antiparasitaires sur le terrain. La réglementation des pesticides agricoles et des produits analogues (Loi du 22 décembre 1972) vise l'homologation de tous les produits " destinés à exercer une action sur les végétaux et le sol ". La majorité des composés organochlorés se sont vu progressivement retirer leur autorisation au cours des années 1970 à 1972.

En matière de traitement des déchets, deux textes de loi s'appliquent conjointement aux déchets de pesticides. Tout d'abord la Loi du 12 juillet 1977 sur le contrôle des produits chimiques qui s'articule ainsi:

- études préalables sur la défense de l'homme "et de son environnement"
- pour toutes les substances nouvelles quel que soit leur domaine d'application
- évaluation des dangers de substances anciennes qui présenteraient des dangers nouveaux

D'autre part, la Loi du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux donne un cadre général à la politique des déchets:

- réduire la diffusion des produits à éliminer
- accroître la récupération des matériaux

- assurer l'élimination des déchets ne pouvant être récupérés dans des conditions satisfaisantes pour l'environnement.

En matière de déchets industriels, le traitement et l'élimination des déchets toxiques et dangereux présentaient en 1980 le bilan suivant:

- incinération: 400 000 t/an
- traitement physico-chimique: 200 000 t/an

On dénombrait alors 15 centres collectifs de traitement ainsi que 7 décharges de déchets spéciaux.

II.3 En Allemagne Fédérale

Le contrôle des produits chimiques relève d'un certains nombre de lois visant essentiellement à protéger les milieux de l'environnement susceptibles d'être touchés. L'essentiel de la responsabilité de ce contrôle est laissé aux Etats (Lander) qui établissent leur propre réglementation conformément à une série de lois-cadres fédérales dont les principales portent sur les émissions, l'élimination des déchets, la gestion des eaux et la protection des plantes.

La Loi sur l'élimination des déchets (7 juin 1972) englobe la collecte, le transport, le traitement, le stockage et le dépôt des déchets. Ces opérations ne peuvent s'effectuer que dans des installations ou des appareillages approuvés à cet effet et le fonctionnement est surveillé par l'autorité compétente. La Loi a fait l'objet d'un amendement en 1977 concernant les déchets dangereux qui a pour but d'une part de classifier ce type de déchets et d'autre part d'exercer un contrôle spécial auprès des compagnies générant de tels

déchets, de la source jusqu'à l'élimination.

En 1977, environ trois millions de tonnes de déchets dangereux ou toxiques ont été recensés. Le gouvernement fédéral préconise un traitement de ces déchets seuls et non pas mélangés avec des déchets municipaux comme c'est le cas en Grande Bretagne. Les principales étapes de traitement sont les suivantes:

1- neutralisation et décontamination;
2- déshydratation - épaississement (chimique / mécanique / thermique):
3- purification du filtrat;
4- incinération;
5- enfouissement.

Les étapes 1 et 3 ont lieu dans des centres de collection régionaux et les étapes 4 et 5 sont plus centralisées. L'incinération en mer est généralement pratiquée pour les hydrocarbures halogénés (environ 1 million de tonne par an), le déversement en mer se fait dans les limites imposées par les conventions d'Oslo et de Londres, et l'injection en puits profonds est utilisée pour certains déchets liquides.

II.4 En Suède

La Loi sur les produits dangereux pour l'homme et son environnement (1er juillet 1975) préconise une "règle générale de prudence" qui s'appuie sur une série de règlements. Certains d'entre eux concernent les pesticides avant commercialisation: classification, homologation, restriction ou interdiction de certains pesticides (ex. DDT).

La Loi sur la protection de l'environnement (1969) exerce un contrôle sur les activités polluantes et sur les répercussions nuisibles pour l'environnement de l'utilisation des sols (le déversement des déchets dans les eaux relève d'une autre législation).

La Loi sur les déversements en mer (1er janvier 1972) interdit tout rejet de déchets (solides, liquides ou gazeux) dans les eaux territoriales suédoises. Le déversement à partir d'un bâtiment suédois en haute-mer est aussi prohibé. Des dérogations sont accordées dans le cas de rejets n'ayant pas d'effets nuisibles sur l'environnement.

CHAPITRE III - LE CAS DE L'INSECTICIDE BIOLOGIQUE

Bacillus thuringiensis (B.t.)

Découverte en 1901 au Japon, cette bactérie a été nommée Bacillus thuringiensis par Berliner en 1915. En Amérique du Nord, le B.t. est utilisé principalement en agriculture (seulement 3% du B.t. employé aux Etats-Unis est utilisé en foresterie). Depuis 1971, année de l'apparition du B.t. au Québec, seules les souches de la variété kurstaki sont commercialisées au Canada et au Etats-Unis (1).

L'utilisation du B.t. à grande échelle n'est pas récente et les recherches qui touchent ses effets sur l'environnement ont clairement établi les risques toxicologiques et pathologiques de cet insecticide biologique.
Paradoxalement, la littérature consultée laisse apparaître une certaine ambiguité quant à la classification du B.t. et de nombreuses contradictions quand il s'agit d'éliminer les déchets du même produit. Comme nous le verrons plus loin cette ambiguité réside dans l'attitude du législateur face aux produits anti-parasitaires: tout ce qui est enregistré comme pesticide est un produit toxique donc dangereux. Il est évident que l'utilisation à grande échelle du B.t. contamine l'environnement bio-physique et appelle donc à une surveillance et un suivi rigoureux. Toutefois, lorsque se posera le problème de l'élimination des déchets du B.t. (non-utilisé, avarié, suite à un déversement, etc...), on devra considérer qu'il s'agit d'un produit biologique qui n'a pas du tout les mêmes caractéristiques qu'un pesticide chimique et qui ne devrait donc pas rencontrer les mêmes critères d'élimination.

III.1 La situation internationale

Bacillus thuringiensis est enregistré en Allemagne fédérale, aux Etats-Unis et au Royaume-Uni pour une application sans restriction sur les cultures alimentaires jusqu'à la récolte, ainsi que sur les denrées agricoles brutes après récolte aux Etats-Unis (6).

Dans ce même pays, l'Agence pour la Protection de l'Environnement a enregistré les produits dérivés du B.t. dans la catégorie des pesticides les moins toxiques (catégorie IV du règlement fédéral sur les pesticides). D'autre part, la majorité des fabricants élaborent des préparations dont beaucoup des ingrédients sinon tous apparaissent sur la "GRAS LIST" (Generally Recognized As Safe) U.S.F.D.A. Title 21, 181-184 tels que:

- sel
- cacao
- parafine
- sucre
- poivre

Dans une autre liste, (Exemption from tolerance) l'Agence américaine reconnaît un ensemble d'ingrédients inertes dont l'usage est approprié pour les préparations de pesticides appliquées sur les cultures destinées à l'alimentation humaine (U-S E.P.A, Title 40 CFR 180.1001). En outre, l'ingrédient actif - l'endospore et son cristal protéinique - ne rencontre pas les critères qui le classeraient parmi les produits dangereux selon la législation fédérale des Etats-Unis (R.C.R.A., sec. 3001).

Cependant l'état de Californie considère tous les pesticides comme des produits dangereux et non pas suivant leur toxicité. En conséquence, les déchets de pesticides doivent être enfouis dans un site spécialement prévu à cet effet (catégorie I). Pourtant, le ministère de la Santé de ce même état, à l'instar de l'Agence pour la Protection de l'Environnement, exclut Bacillus thuringiensis de la catégorie des produits toxiques ou dangereux et permet l'enfouissement des déchets de B.t. dans un site municipal (Laboratoires ABBOTT).

La solution envisagée dans l'état du Maine pour l'élimination des déchets de B.t., suite à un déversement accidentel, est tout simplement l'épandage sur le sol (communication personnelle, 1984).

III.2 Au Canada

Bacillus thuringiensis Berliner fut le premier organisme vivant enregistré au Canada pour la lutte contre les insectes. En effet, Stanffer Chemical Company of Canada Limited demanda en 1961 l'homologation du Thuricide 3-B (Reg. No. 8058) et du Thuricide 30-B W.P. (Reg. No. 8060) pour le contrôle de certaines chenilles sur les cultures de tabac et d'autres végétaux. A cette époque, les études de toxicité n'indiquèrent pas de risque pour les humains, les oiseaux, les poissons et les insectes prédateurs ou parasites (McLeod, 1961). D'autre part, Agriculture Canada publie un guide sur les produits chimiques agricoles dont le premier volume concerne les insecticides; la version révisée de 1982-83 indique clairement que Bacillus thuringiensis Berliner est non toxique pour les animaux et les plantes y compris les prédateurs des espèces-cibles. Enfin Santé et Bien être Social Canada, dans l'application de la Loi sur les aliments et les

drogues, reconnait que les résidus de spores viables de B.t. dans les aliments ne sont pas dangereux pour les humains (Santé et Bien-Etre Social Canada, 1983).

III.3 Autres provinces

L'insecticide biologique est utilisé dans les provinces de l'Ontario, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Ecosse (12). Les seules réglementations existantes concernent l'utilisation du B.t. en vue de protéger les zones sensibles des pulvérisations (habitations, cours d'eau, prises d'eau potable, etc...). On notera cependant que la province de l'Ontario qui arrose principalement au B.t. (90% en 1982), n'applique aucune réglementation ni même de directive sur l'utilisation du B.t. (1).

Il n'est pas surprenant alors de constater l'absence totale de programme de gestion des déchets d'insecticide biologique. Dans de telles conditions, les différents services responsables agissent en fonction des cas qui se présentent tel qu'un déversement accidentel, un stockage prolongé de résidus ou de surplus de pesticides, etc... Au Nouveau-Brunswick par exemple, un déversement accidentel d'une centaine de litres d'une préparation de B.t. a été traité par des détergents à même le sol. Là aussi chaque cas est évalué par le Service du contrôle de la pollution du ministère de l'Environnement qui préconise les solutions suivantes: traitement par des détergents, enfouissement sanitaire, incinération normale (BROWNE, communication personnelle, 1984).

III.4 Au Québec

Au Québec, la seule législation concernant le B.t. est du ressort fédéral puisqu'il s'agit de son homologation. Pour sa part, le ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation inclut le B.t. parmi les pesticides qu'il recommande, avec les indications suivantes:

- DL_{50}* : 15,000 mg/kg;

- relativement non toxique pour les abeilles;
- aucun intervalle de sécurité entre le dernier traitement et la récolte des choux, herbages, rabioles, rutabagas, tabacs.

Une fois la préparation homologuée, c'est le ministère de l'Environnement qui décide de l'utilisation de la préparation au Québec. Ainsi les pulvérisations du B.t. pour le programme 1983-84 sont interdites dans un rayon de 1 kilomètre autour des zones habitées et en culture, et des prises d'eau potable (1). Jusqu'à présent, il n'existe pas de réglementation ni même de directive quant à la gestion spécifique des déchets de B.t. dans la province du Québec.

* : Dose léthale pour 50% des animaux testés.

CONCLUSION

Au terme de cette première partie, il apparaît un certain nombre d'évidences en ce qui concerne la législation de l'élimination des déchets de pesticides.

On peut tout d'abord constater que les gouvernements se sont principalement préoccupés de la commercialisation des produits anti-parasitaires. Les législateurs ont donc largement couvert la question de l''homologation des pesticides, en intégrant les impacts sur l'homme et son environnement.

Avec la montée constante du souci de protéger le milieu biophysique, les responsables imposent des règles précises pour l'utilisation des pesticides en limitant les aires d'arrosages.

Lorsqu'on aborde le problème des déchets de pesticides, la réglementation porte davantage sur l'élimination des contenants et des résidus.

Cependant, depuis quelques années, les gouvernements légifèrent de plus en plus en matière de déchets industriels et de déchets toxiques ou dangereux. C'est sans doute par ce biais que s'organisera la gestion des déchets de pesticides à défaut d'une législation spécifique. Il faut tout de même rappeler que seuls les Etats-Unis se sont dotés d'une réglementation portant sur l'élimination des déchets de pesticides. Le Québec quant à lui, ne fait pas exception à la règle.

2EME PARTIE: LA TECHNOLOGIE

CHAPITRE I - METHODES D'ELIMINATION THERMIQUES

I.1 Incinération

I.1.1 Généralités

L'incinération est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour éliminer les déchets de pesticides. Depuis longtemps maîtrisée, cette technique permet de traiter les produits en grande quantité tout en réduisant considérablement leur volume. Le contrôle des émissions polluantes n'est plus un problème technique et le procédé permet une récupération importante en énergie. Par contre, l'incinération est un procédé relativement coûteux, à cause par exemple de l'épuration des émissions toxiques; de plus, il génère des cendres qu'il faut éliminer (8).

A part quelques rares exceptions, la plupart des préparations commerciales de pesticides sont détruites à plus de 99% à une température de 1,000°C (15). La quantité de pesticides oxydée lors de la combustion à cinq températures différentes est représentée au tableau I.

L'efficacité d'un incinérateur repose sur les critères suivants: La température de combustion, le temps de séjour, la turbulence, le débit d'air, la combustibilité du déchet et son taux d'alimentation. Ainsi l'incinération de déchets toxiques tels que les pesticides requiert une technologie plus performante que celle utilisée pour les déchets domestiques (20).

TABLEAU I : Pourcentage de pertes lors de la combustion de certains pesticides.

Formulation commerciale	PERTES (%)				
	600°C	700°C	800°C	900°C	1,000°C
Acides phénoxcyalkanoiques					
2,4-D	99.8	99.9	99.9	99.9	99.9
2,4,5-T	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
Organo-chlorés					
DDT	99.2	99.3	99.7	99.9	100.0
Dieldrine	99.1	99.4	99.5	99.5	99.5
Dicamba	98.6	98.7	98.9	99.0	99.4
Hétérocycliques					
Atrazine	87.8	91.8	95.6	98.7	99.2
Paraquat	98.3	98.6	99.0	100.0	100.0
Bromacil	88.8	89.1	89.4	90.5	91.3
Carbamates					
Sevin	88.7	88.8	88.8	89.1	89.5
Autres					
DNBP	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8
Dinron	94.6	95.0	95.4	95.5	95.5
Zineb	70.1	71.3	71.5	72.7	72.8

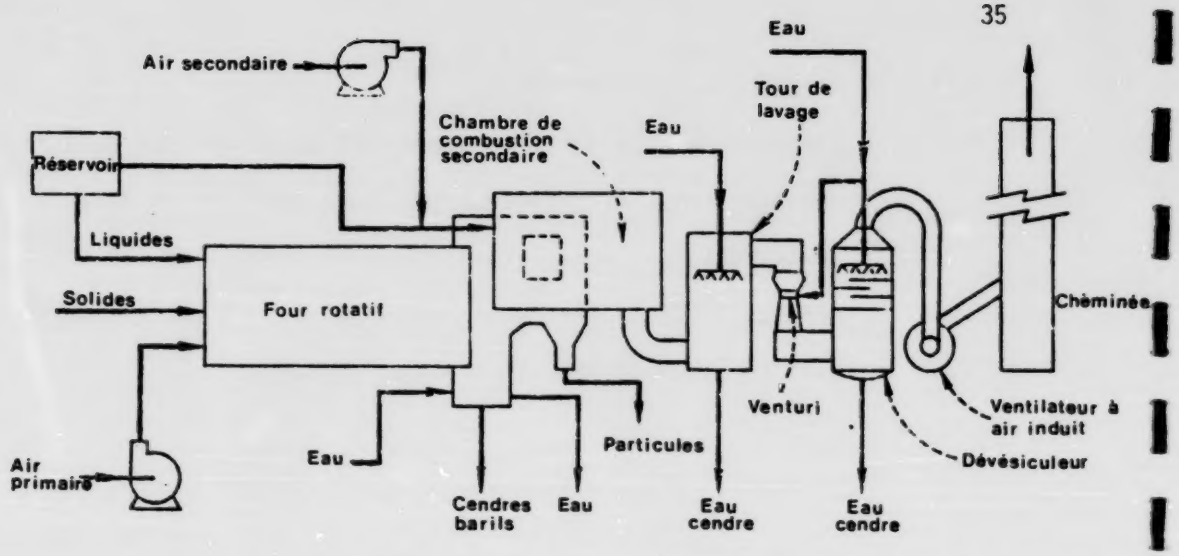
D'après KENNEDY et al. (1969)

I.1.2 Incinérateur à four rotatif

Bien que ce type d'incinérateur soit aussi utilisé dans certaines municipalités, il trouve sa meilleure application dans le traitement des déchets industriels et en particulier des déchets toxiques. Un incinérateur à four rotatif est prévu pour incinérer à la fois des déchets liquides et solides.

Le four effectue des rotations de l'ordre de 12 révolutions par heure ce qui a pour effet d'une part, d'améliorer le mélange des déchets avec l'air, et d'autre part, d'exposer continuellement de nouvelles surfaces à oxyder. La température de combustion varie généralement entre 870°C et 1,650°C dépendant des propriétés calorifiques du combustible. En contrôlant la vitesse de rotation et l'inclinaison du four, on peut faire varier le temps de séjour des déchets dans le four et ainsi l'ajuster suivant la nature du déchet; le temps de rétention peut ainsi varier de 0.5 seconde à plusieurs heures (18,8). Très souvent, le four rotatif est équipé d'une chambre de combustion secondaire (ou post-combustion) qui oxyde les matières en suspension dans les gaz: ceux-ci sont maintenus à une température de 850 à 900°C pendant 1 à 3 secondes.

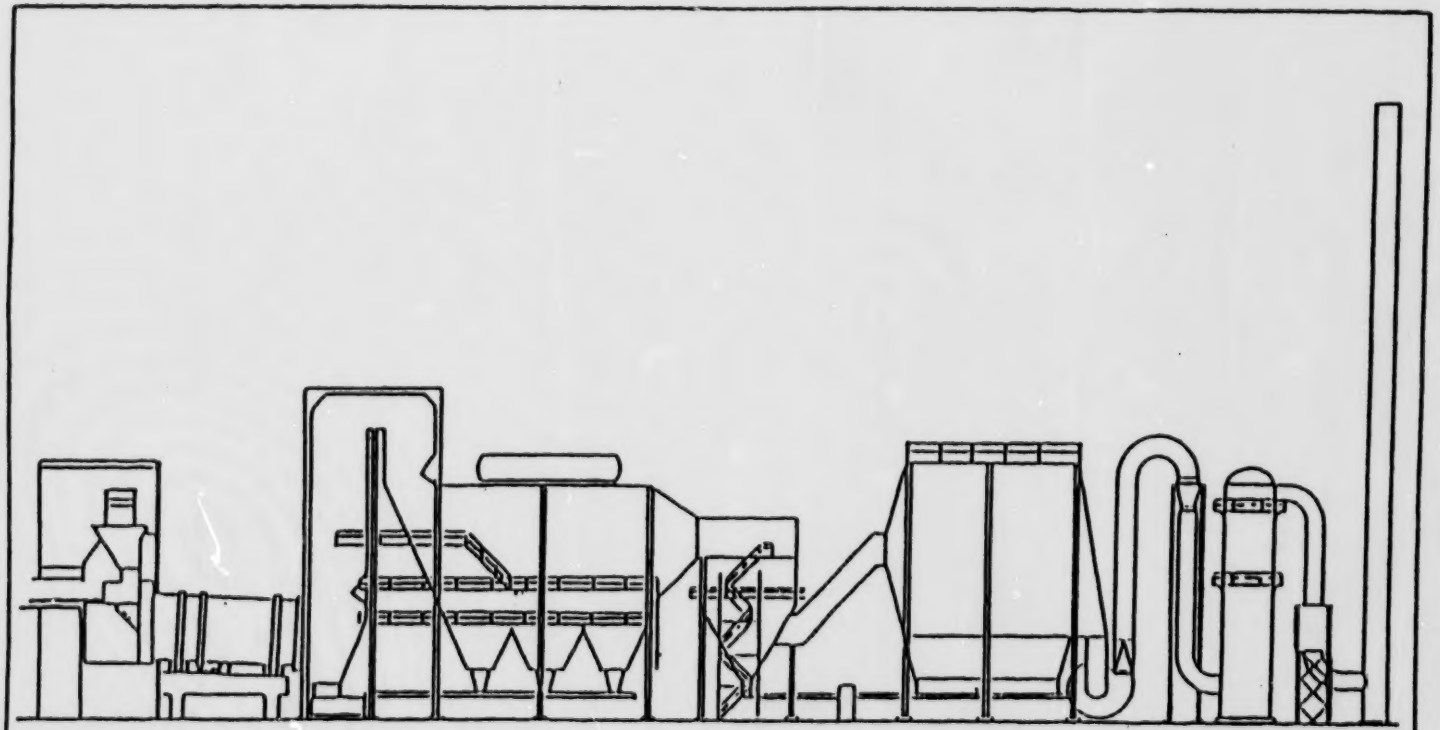
L'incinérateur à four rotatif de la compagnie 3M Co. à St-Paul (Minnesota) traite des déchets chimiques dangereux liquides et solides (Fig. 1). Le système de traitement des gaz comprend une tour de lavage, un venturi, un dévésiculeur (séparateur de goutelette), un ventilateur d'air induit et une cheminée de 60m (18).



D'après LEWIS et al. (1980).

Figure 1. Incinérateur à four rotatif.

La solution retenue par le ministère de l'Environnement du Québec pour la gestion des déchets organiques industriels et dangereux est le projet SERDOQ (Société d'Elimination et du Recyclage des Déchets Organiques du Québec). L'élimination des déchets est effectuée par un incinérateur à four rotatif muni d'un système de traitement des gaz de combustion (Fig.2). Le four, d'une longueur de 13.1m et de diamètre extérieur de 5.1m, sera conçu pour tourner à moins de 1 tour par minute. Le constructeur prévoit une efficacité d'au moins 99.99% et lorsque la température est portée à 1250°C avec un temps de séjour de plus de 2 secondes dans le four, l'efficacité de destruction atteindrait 99.9999% (4). Dans de telles conditions, l'incinérateur éliminera les déchets les plus toxiques tels de les BPC et les pesticides chlorés.



D'APRES BARTER (1984)

FIGURE 2: CENTRE D'ÉLIMINATION ET DE RECYCLAGE DES DÉCHETS ORGANIQUES DANGEREUX DU QUÉBEC SERDOQ

Les déchets liquides non-halogénés à faible teneur calorifique passeront directement dans la chambre de post-combustion en respectant un temps de séjour de 2.5 secondes, ce qui permettra de réduire l'évaporation dans le four. Après avoir été refroidis, les gaz entrent dans la chaudière de récupération d'énergie avec une température de 750°C. Ils sont ensuite acheminés au système d'épuration suivant:

- séchoir/réacteur vaporisant de la chaux, pour capter les gaz acides et les métaux lourds.
- précipitateur électrostatique ou épurateur à sacs filtrants pour l'enlèvement primaire des particules.
- ventilateur d'air induit maintenant une pression négative d'environ 10mm Hg dans le four.
- épurateur des gaz humides incluant une section de refroidissement, des jets à venturi et une section de contact à lit fluidisé suivie par une séparation des vapeurs humides, pour l'enlèvement final des particules, des gaz acides, des métaux lourds et des aérosols.
- cheminée isolée en acier, d'une hauteur de 60m.

Le projet SERDOQ, dont l'échéancier de réalisation n'est pas connu, devrait voir le jour d'ici la fin de la décennie.

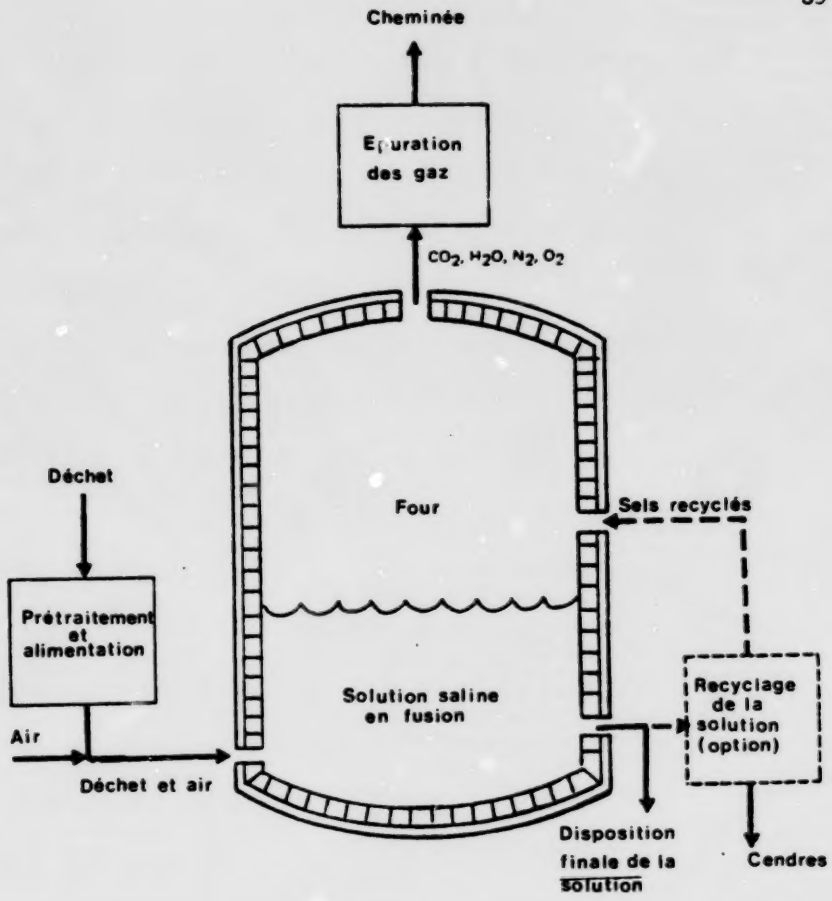
I.1.3 Incinérateur à sels en fusion (Molten salt incineration)

C'est l'une des techniques d'incinération les plus récentes qui incorpore une solution saline maintenue en fusion dans la chambre de combustion. Ce procédé à été développé par la compagnie Rockwell International (Canoga Park, Californie) pour l'élimination des déchets dangereux (Brevet des Etats-Unis, No.3,778,320). Par la suite, la même compagnie a appliqué son procédé pour traiter spécifiquement les pesticides et leurs contenants (Brevet des Etats-Unis, No. 3,845,190).

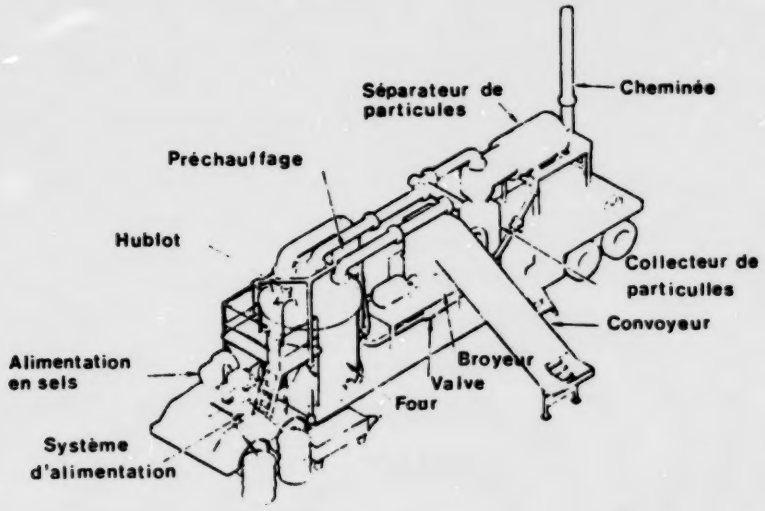
Le matériel combustible et l'air sont introduits à la base du réservoir de façon à ce que tous les gaz de combustion traversent la solution saline avant d'être débarrasés de leurs particules par un venturi ou des sacs filtrants (Fig.3.a). La valeur calorifique des déchets conduit généralement à un bilan énergétique positif (26). Les cendres doivent être régulièrement retirées, pour préserver la fluidité de la solution, jusqu'à une concentration de 20% en poids. Lorsque la charge est suffisamment importante, le mélange sels-cendres est lavé et filtré afin de recycler les sels.

La solution saline est composée de carbonate de sodium contenant 10% (en poids) de sulfate de sodium. On utilise les propriétés alcalines du carbonate de sodium qui réagit instantanément avec les gaz acides (chlorhydrique et sulfurique), alors que le sulfate de sodium joue un rôle de catalyseur.

(a)



(b)



D'après YOSIM et al. (1978)

Figure 3: Combustion dans un bain de sels en fusion
(a) Principe (b) Unité mobile

La solution saline est maintenue en fusion entre 800 et 1000°C; la décomposition des pesticides est à la fois pyrolytique et oxydative. Les principaux produits de combustion sont le CO_2 et la vapeur d'eau. Les produits halogénés forment des sels de sodium correspondants; de même que pour les composés phosphorés, sulfureux, ou contenant de l'arsenic ou de la silice, que l'on retrouve sous forme de sels oxydés tels que $Na_3 PO_4$ Na_2SO_4, $NaAsO_3$ et Na_2SiO_3. La température de combustion est assez élevée pour détruire complètement les odeurs et suffisamment basse pour éviter la formation d'oxydes d'azote.

(Voir tableau II, page suivante)

TABLEAU II: Combustion du malathion et du DDT

Pesticides	Sel	Température moyenne (^{0}C)	Destruction %	Concentration dans le sel (ppm)	Quantité dans les gaz (mg/m^3)	TLV* (mg/m^3)
DDT	Na_2CO_3	922	99.997	< 0.05	1.4	1
DDT	K_2CO_3	894	99.998	< 0.2	0.3	1
Malathion	Na_2CO_3	922	99.996	< 0.01	1.1	15
Malathion	K_2CO_3	896	99.999	< 0.005	< 0.4	15

* Threshold Limit Value (Valeur du seuil limite d'exposition).

D'après YOSIM et al. (1978).

L'introduction du carbonate de potassium est pratiquée en vue de récupérer le produit de combustion, KCl, pour ses qualités de fertilisant.

Ce type d'incinérateur convient parfaitement pour la combustion des contenants de pesticides combustibles (papier, plastique). Dans le cas des réceptacles de verre, la température doit dépasser 900°C afin d'obtenir une réaction rapide (30 minutes à 900°C pour une combustion totale). La combustion des contenants métalliques n'est pas envisagée en raison d'un taux de réaction très faible.

La conception d'une unité mobile a déjà été étudiée. Cette étude a été prévue pour un four de 3.5m de haut et de 2m de diamètre intérieur, capable de traiter environ 250 kg/h de déchets et comprenant un poste de déchiquetage pour les contenants(Fig. 3.b).

On retiendra les principaux avantages suivants:

- destruction des déchets immédiate et complète au contact des sels en fusion.
- absence d'émissions acides (HCl ou H_2S) et de dioxyde de soufre.
- les produits de combustion sont stériles et inodores.
- les sels utilisés sont stables, non-volatiles, bon marché et non-toxiques.

Toutefois, cette nouvelle technologie est aussi caractérisée par un prix très élevé qui empêche pour l'instant sa commercialisation (MENVIQ, communication personnelle, 1984).

I.1.4 Incinération en mer

L'élimination des déchets dangereux à bord d'un navire-incinérateur est apparue en Europe depuis 1969. Elle est soumise à la Convention de Londres, adoptée en octobre 1978, sous l'égide de l'IMCO (organisation de consultation pour les affaires maritimes inter-gouvernementales), dépendant de l'O.N.U. (14).

Ce règlement n'est valable que pour les déchets liquides et inclut les composés organiques chlorés:

- température de combustion de 1,250°C minimum;
- temps de séjour entre 0.5 et 1.5 secondes;
- excès d'oxygène de 3% minimum à la cheminée;
- efficacité de combustion d'au moins 99.95 0.05%.

La compagnie Stahl Und Blech-Bau GmbH (SBB) d'Allemagne de l'Ouest a été la première à posséder de tels navires (Matthias I, 1968; Matthias II, 1970; Matthias III, 1976), qui ont permis l'élimination de tous les résidus d'hydrocarbures chlorés de l'industrie chimique de ce pays. La compagnie Ocean Combustion Services (OCS), également d'Allemagne de l'Ouest, a elle aussi construit un navire-incinérateur - le Vulcanus - en opération depuis 1972. Toutes deux emploient un incinérateur à injection liquide dans lequel le déchet liquide est alimenté sous pression

et brûle à une température allant de 1,200°C à 1,500°C (20).

En 1975, Shell Chemical Co. demanda les services de O.C.S pour brûler 16,800 tonnes de déchets organo-chlorés, avec l'accord de l'E.P.A. L'opération s'est déroulée dans le Golfe du Mexique à environ 3,000 km des côtes américaines. Les déchets étaient brûlés à un taux de 25 t/h, avec une température de flamme de l'ordre de 1,350°C et un excès d'air variant de 90 à 160%. Les gaz de combustion s'échappaient de la cheminée avec une température comprise entre 1,000°C et 1,200°C et contenaient en moyenne:

- 25 à 75 ppm de CO,
- 9 à 12.5 % de O_2,
- 5.2 à 6.2 % de HCl,
- moins de 200 ppm de Cl_2

Sur l'ensemble des opérations, l'efficacité de combustion était supérieure à 99.9%. Les concentrations d'acide chlorhydrique relevées à 1,300 mètres du bateau n'ont pas dépassé 3 ppm. Le suivi environnemental, assuré par l'E.P.A., concluait que le milieu marin n'avait pas été affecté par les résidus organo-chlorés, les traces de métaux lourds ou bien l'acide chlorhydrique (23).

I.2 Pyrolyse

I.2.1 Principe

La pyrolyse est le changement chimique d'une substance sous l'effet de la chaleur seule, en absence d'air et de catalyseur. Les paramètres qui gouvernent la transformation pyrolytique sont la température, le temps de séjour, la pression partielle en hydrocarbure, la pression totale et la composition chimique du substrat. La matière organique est aussi réduite en résidus carbonnés, huiles, alcools et gaz par des mécanismes de volatilisation, sublimation et reformation pyrolytique (23).

Chaque composé chimique a une température pyrolytique caractéristique: la cellulose à 320°C; les paraffines et oléfines à 370-540°C; les hydrocarbures aromatiques à 700°C; le méthane 1,100°C. Ainsi, la température est généralement maintenue entre 500°C et 800°C (27).

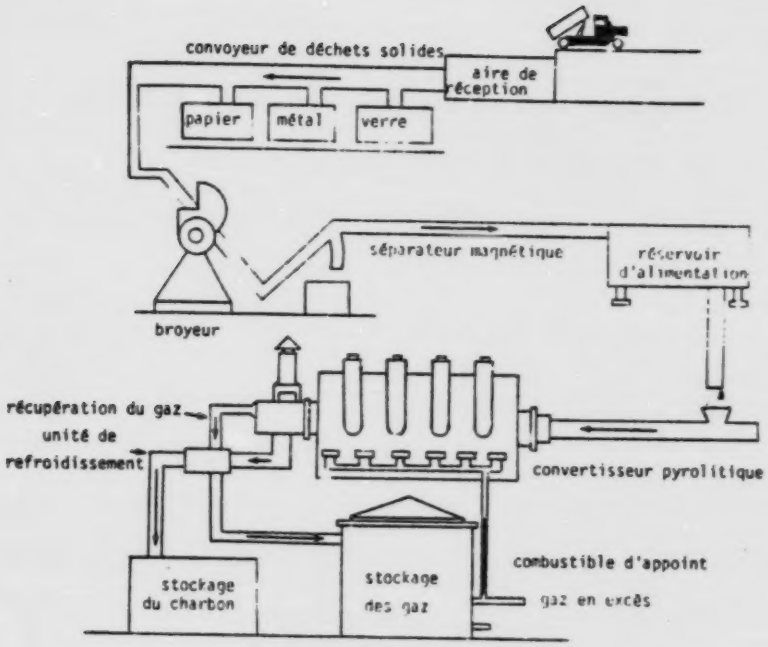
La pyrolyse est généralement initialisée par une rupture des liaisons C-C. Une réaction primaire en chaîne est propagée par des radicaux libres méthyles et éthyles. Les gros radicaux ainsi que les hydrocarbures sont facilement décomposés par collision pour reformer des radicaux libres plus petits ou des hydrocarbures insaturés. La réaction se termine lorsque les radicaux se combinent entre eux pour former des hydrocarbures gazeux de poids moléculaire inférieur.

D'autre part, il a été démontré que l'augmentation de la température de réaction accroît le pourcentage d'hydrocarbures légers. Le même phénomène se produit, à température constante, lorsque l'on augmente le temps de séjour du solide. Le temps de résidence des gaz pyrolytiques est habituellement entre 0.5 et 2.0 secondes (27).

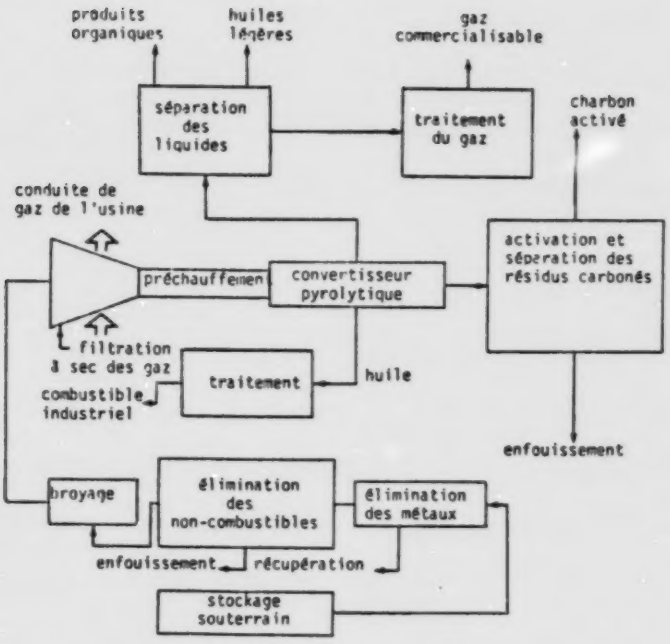
La vapeur d'eau, le monoxyde et le dioxyde de carbone sont les premiers gaz formés. Viennent ensuite hydrogène, méthane, éthylène et éthane. L'énergie requise pour le procédé est composée de 30 à 40% par les gaz combustibles issus de la pyrolyse. Le surplus de gaz peut alimenter d'autres équipements annexés ou bien servir à la production de vapeur. Ainsi, la conversion pyrolytique de 100 tonnes par jour de déchets municipaux est capable de produire 400,000 kw d'électricité par jour avec seulement l'excès de combustible gazeux (27).

Après condensation, la phase liquide est habituellement constituée de méthanol, éthanol, isobutanol, n et t-pentanol, 1,3-propanédiol, 1-hexanol, acide acétique, cétones et goudrons. Ce condensat liquide, dont la composition varie suivant le substrat pyrolysé, représente donc une importante source de composés organiques pouvant être commercialisés (27).

Environ 30% à 35% en poids de substrat introduit se retrouvent sous forme de résidus carbonés. Utilisé comme combustible, ce dernier peut servir de source d'énergie d'appoint dans le procédé. (Fig.4).



(a)



(b)

D'après POWERS (1976)

Figure 4. La pyrolyse

(a) conversion pyrolytique

(b) Pyrolyse et traitement secondaire

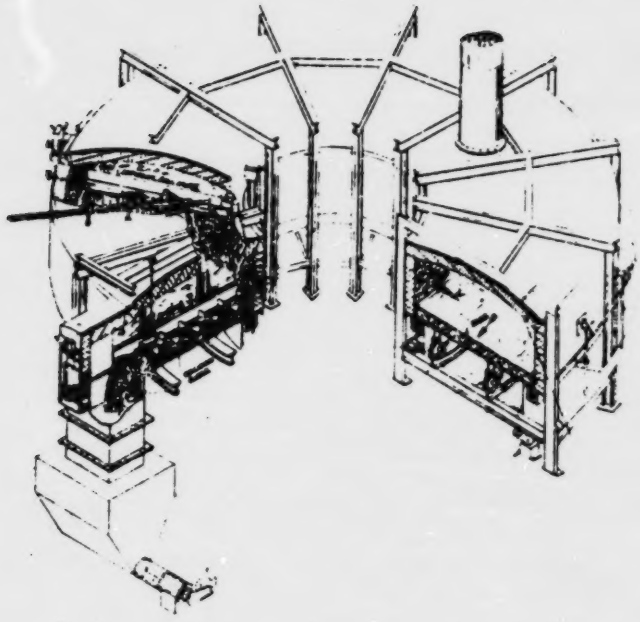
I.2.2 La pyrolyse de déchets organiques

La valorisation des déchets par conversion pyrolytique est une approche relativement récente. Les procédés qui sont en opération traitent des déchets municipaux, des boues industrielles, des pneus usagés, des matières plastiques et autres polymères organiques (23).

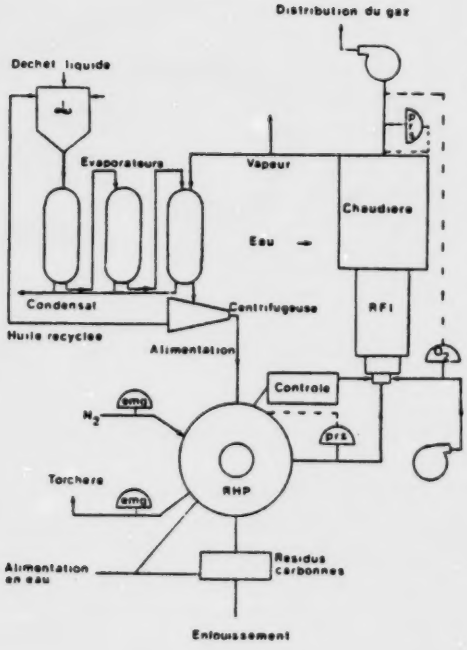
La compagnie Midland-Ross aux Etats-Unis a conçu un procédé de conversion de déchets en énergie à partir d'un pyrolyseur couplé à un incinérateur (27). La version commercialisée est un pyrolyseur à foyer rotatif (RHP), idéal pour les catégories de matériaux suivants (Fig. 5-b):

- trop visqueux pour être atomisé dans un incinérateur à injection liquide;
- point de fusion bas;
- contenant des polluants qui nécessitent l'épuration des émissions gazeuses.

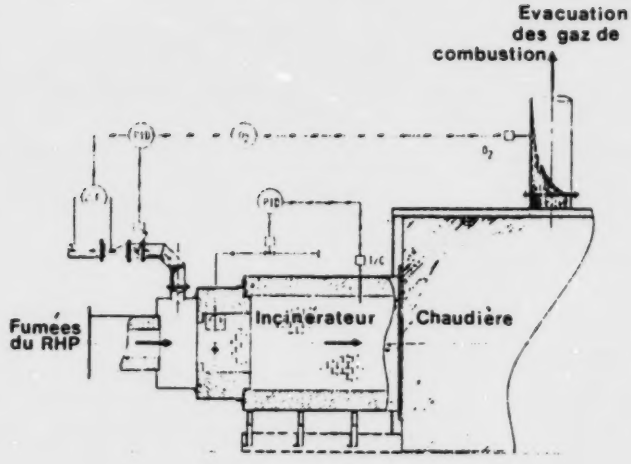
Les déchets sont d'abord déshydratés jusqu'à une concentration de 1% en eau à l'entrée du RHP. Ils sont ensuite pyrolysés à une température de 650°C, à raison de 1,600 kg/h, dans un milieu sans oxygène et sous une pression maintenue légèrement positive. Le substrat est alimenté en continu de façon à former une mince couche uniforme qui n'a donc pas besoin d'être agitée et qui réduit considérablement l'émission de particules (Fig. 5-a). Les cendres et résidus carbonisés sont refroidis avant d'être enterrés. Les fumées issues du RHP sont riches en H_2, CH_4,



(a)



(b)



(c)

D'après ZELTNER (1983)

Figure 5: Procédé pyrolytique pour déchets organiques
(a) Pyrolyseur à foyer rotatif (RHP)
(b) Version commercialisée
(c) Incinérateur (RFI)

C_2H_4, CO et H_2O. Elles sont brûlées à l'incinérateur RFI (Rich Fume Incinerator) à une température variant de 1,000°C à 1,500°C avec un excès d'air inférieur à 10% (Fig. 5-c). Finalement, les gaz de combustion traversent une chaudière de récupération d'énergie d'où ils sortent avec une température de 250°C, produisant ainsi 30,000 kg/h de vapeur.

Outre cette importante production d'énergie excédentaire, donc commercialisable, le procédé est exempt de système d'épuration des émissions gazeuses. Enfin, à la suite de tests menés à l'échelle pilote par Midland-Ross, le procédé à montré une efficacité de destruction des BPC de 99.9999%.

I.3 La technologie du plasma

Le plasma est le nom donné à la matière dans sa forme ionisée. Cet état prend forme sous l'impulsion d'une décharge électrique très puissante qui transforme le substrat liquide ou solide en une phase gazeuse constituée d'électrons libres, d'ions et de différents radicaux libres. Si les mécanismes de décomposition sont principalement d'ordre électroniques, ils ont lieu à des températures très élevées atteignant parfois 50,000°K. Ceci nous a incité à parler de la technologie du plasma dans ce chapitre pour garder une certaine homogénéité au texte.

Les applications à l'échelle industrielle vont généralement vers la fabrication de produits de synthèse à haute valeur ajoutée telle l'acétylène. Cette industrie est fortement développée dans les pays scandinaves et prend son essor en Amérique du Nord.

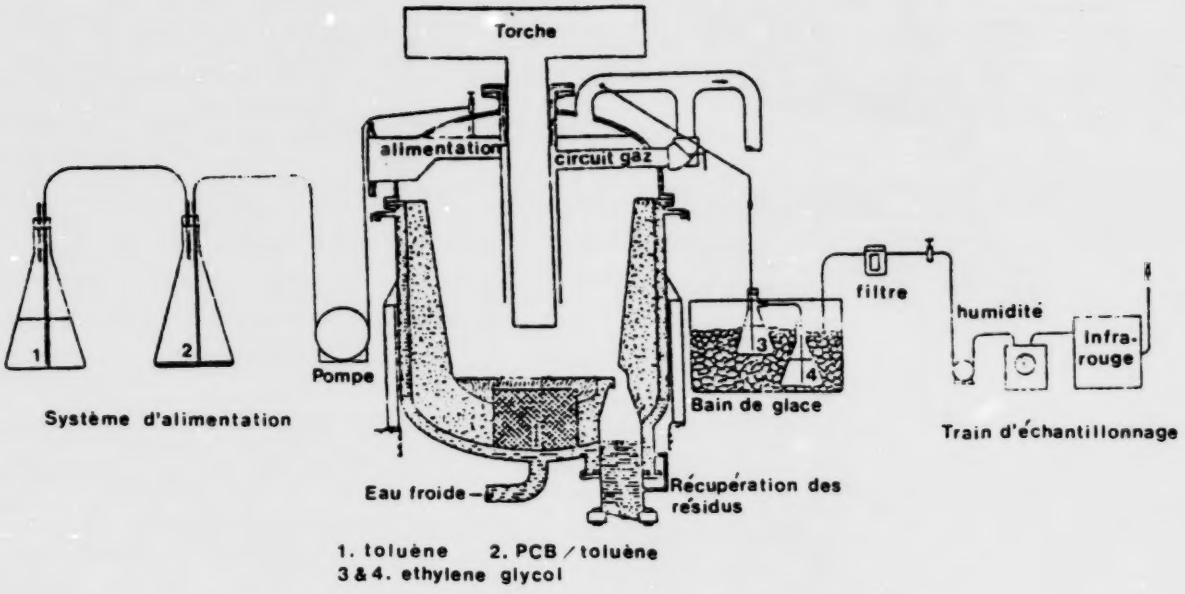
Depuis quelques années, des recherches ont été entreprises dans le domaine de la destruction des déchets toxiques. Bien que ces travaux demeurent au stade expérimental ou semi-industriel, certains d'entre eux ont porté sur l'élimination des déchets organiques et plus particulièrement des pesticides.

I.3.1 Pyroplasma

Le procédé a été développé au Collège Militaire Royal du Canada à Kingtson en Ontario en vue d'éliminer des BPC ou des liquides en contenant (5).

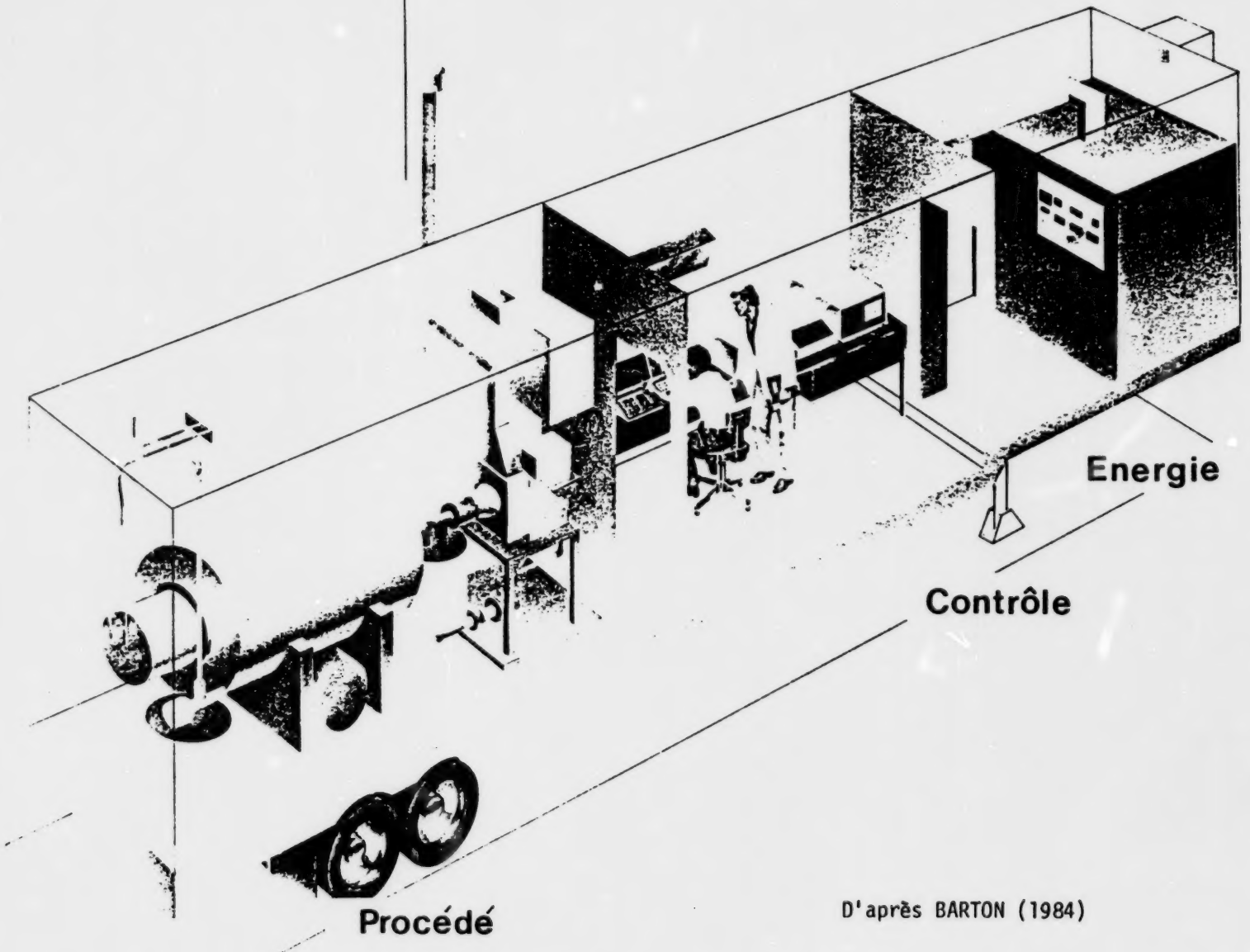
La torche de plasma n'utilise qu'une petite quantité de n'importe quel gaz pour générer un courant gazeux fortement ionisé qui traverse un arc électrique jusqu'à une électrode au carbone. L'arc est le siège de très hautes températures de l'ordre de 50,000°K qui fournissent la chaleur nécessaire à la pyrolyse. Des radiations très intenses dans l'ultrat-violet augmentent la volatilisation et le "cracking" thermique de la matière organique. Dans la zone de pyrolyse, les molécules sont réduites à l'état d'entités atomiques qui se recombinent pour former des composés gazeux plus légers. Lorsque l'air est utilisé comme vecteur de plasma, moins de 1% de l'oxygène nécessaire à la combustion stochiométrique des déchets organiques est introduit.

Les déchets, liquides ou solides, alimentent la partie supérieure du réacteur vers le plasma qui est établi dans un arc électrique de 350 KW. Les produits de dégradation dépendent de la nature du substrat, mais généralement on retrouvera dans les gaz, CO, CO_2,



D'après BARTON et al. (1979)

Figure 6: Description du procédé Pyroplasma



D'après BARTON (1984)

Figure 7: Unité mobile du Pyroplasma

CH_4, $COCl_2$, Cl_2, HCl, H_2, H_2S, H_2O, O_2, N_2, NO, NH_3, NO_2 et SO_2. Les résidus carbonés, qui représentent parfois jusqu'à 50% des produits finals, ont une structure de chaîne graphitique de 400 à 1,200 angstroms de longueur et pourraient intéresser certaines industries.

Les tests ont porté sur une solution de toluène contenant 22,000 ppm de BPC (Aroclor 1254) alimentant un réacteur de 450 litres utiles à un taux constant de 0.24 l/min (Fig. 6). Les conditions opératoires étaient les suivantes:

- puissance de plasma d'environ 231 KW;
- température moyenne des émissions gazeuses de 855°K
- temps de séjour des BPC de 10 secondes.

L'efficacité de destruction a été estimée à un minimum de 99.6%. Le développement du procédé devrait aboutir à une unité commerciale capable de traiter des déchets organiques liquides et solides avec une efficacité d'au moins 99.99%. De plus, l'énergie récupérée sous forme de chaleur ou de combustible atteindrait jusqu'à cinq fois l'énergie électrique consommée (Fig. 7).

I.3.2 Plasma à micro-ondes

Il s'agit essentiellement du même principe que précédemment alors que l'énergie appliquée au gaz est un champ électrique produit par des micro-ondes (2,450 MHz). Le plasma est maintenu en l'absence d'électrodes internes et sous une pression proche du vide. Ainsi les électrons libres ont des températures dépassant largement

10,000°K tandis que celles des gaz neutres sont inférieures à 1,000°K (3).

Les premiers essais ont été menés en laboratoire sur les produits décrits au TABLEAU III. Ils ont permis d'établir que l'oxygène était un réactif plus adéquat que l'argon, en raison des produits extrêmement toxiques qui résultaient du plasma substrat-argon.

A la suite de ces résultats, de nouveaux tests furent effectués sur une plus grande échelle (Fig.8). Les résultats sont résumés au TABLEAU IV. Les produits de décomposition du malathion étaient S, SO_2, CO_2, CO et H_2O, en plus d'acide phosphorique liquide contenant des traces de pesticide. Dans le cas du Kepone, on retrouvait CO_2, CO, HCl et H_2O.

Les auteurs du procédé envisagent de commercialiser une unité capable de traiter des déchets aussi bien solides que liquides ou gazeux, purs ou en solution, organiques ou contenant des éléments inorganiques. Cette technologie est particulièrement bien adaptée pour la destruction des déchets toxiques et ne nécessite pas de post-traitement plus sophistiqué qu'un lavage alcalin pour les émissions gazeuses.

TABLEAU III: Identification des produits testés

CLASSE	PRODUIT	FORME
Pesticide organophosphoré	Malathion	Liquide pur
Déchet d'hydrocarbure chloré	BPC	Mélange liquide
Rodenticide chloré	Bromure de Méthyl	Gaz commercial
Fongicide (APM)	Acétate de phénylmercure	Solution commerciale
Pesticide chloré	Kepone	1- Poudre commerciale 2- Dispersion aqueuse 3- Dilué dans du méthanol
Polyaromatique	55.4% Xylène azo-B-naphtol 18.9% 1-Methylaminanthraquinone 18.0% Sucrose 1.8% Graphite 5.9% Silice (KC103 exclu)	1- Dispersion aqueuse 2- Solution dans du méthyle-éthyle cétone

D'après BAILIN et al. (1978)

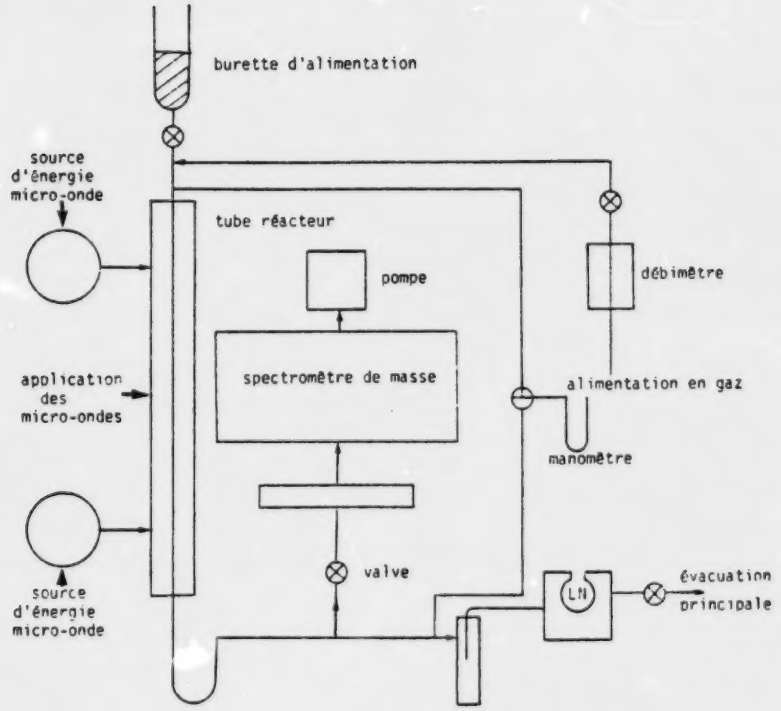


Figure 8: Procédé de plasma à micro-ondes.

TABLEAU IV: Destruction de déchets organiques par plasma à micro-ondes.

PRODUIT	PUISSANCE (KW)	CHARGE (g/h)	PRESSION (mm Hg)	DEBIT O_2 (l/h)	CONVERSION (%)
Malathion	3.7	504	28-46	361	99.9988
	4.7	480	28-30	480	99.9999
	4.6	270	17-35	323	> 99
BPC	4.2	492	19-36	395	> 99
	4.5	206	13-25	360	> 99
	4.6	1,020	120-140	960	99.99
APM	4.0	2,380	100-120	792	99.99
	4.3	2,950	100-120	792	99.99
	4.6	--	45-60	720	> 99
Kepone	4.2	--	35-50	--	> 99
	4.6	--	30-70	810	> 99
Polyaromatique	4.6	--	35-60	300	99.9999

D'après BAILIN et al. (1978).

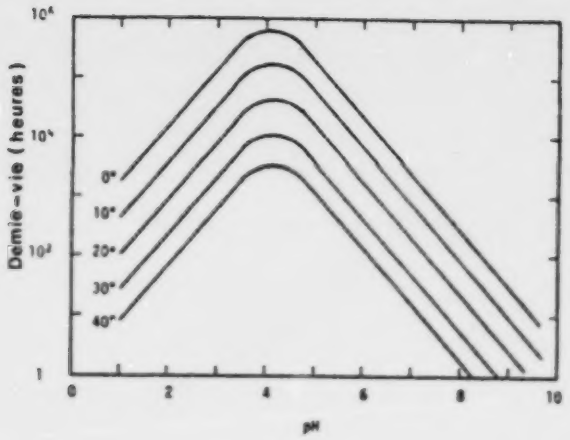
CHAPITRE II - TRAITEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES

Il existe un très grand nombre de méthodes de traitement physico-chimique des déchets organiques et particulièrement des déchets de pesticides. Certains procédés permettent un traitement complet des déchets alors que d'autres ne sont qu'une étape intermédiaire. Par ailleurs, l'efficacité de destruction ou de détoxication variant d'une méthode à une autre, il s'est développé des procédés capables de traiter des déchets très concentrés et d'autres qui ne s'appliquent qu'à des solutions diluées. Pour ces raisons, nous ne ferons pas ici une étude exhaustive des traitements physico-chimiques existants, pour ne retenir que les solutions qui répondent le mieux à nos préoccupations. Conséquemment, le degré de développement ne sera pas le même pour chaque procédé et on en verra certains dûment brevetés alors que d'autres sont encore à l'échelle du laboratoire.

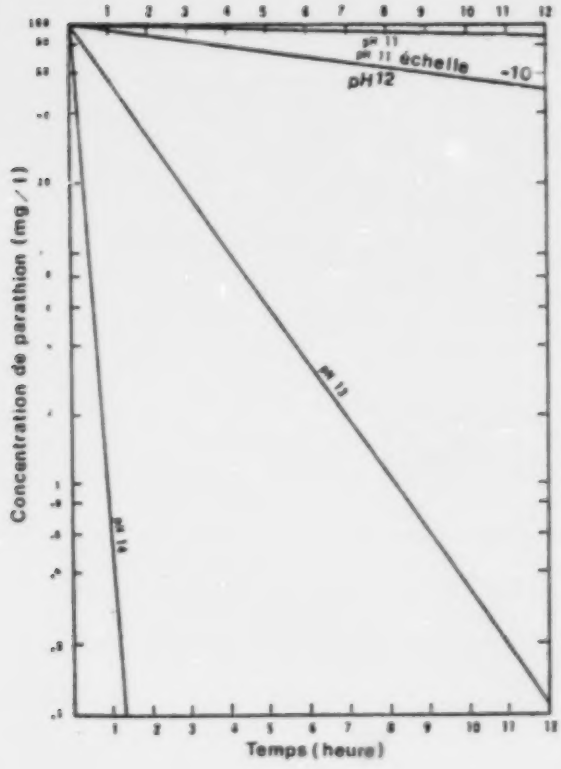
II.1 Hydrolyse chimique

Cette voie a déjà fait l'objet de nombreuses études et tous les auteurs s'accordent pour dire qu'il n'existe pas de méthode universelle. Il apparaît aussi que l'hydrolyse chimique convienne d'avantage à de petites quantités de pesticides ou encore à des solutions diluées. Qu'elle soit basique ou acide, l'hydrolyse peut parfois détruire complètement un produit donné ou bien le détoxiquer partiellement ou encore aboutir à un composé plus toxique (8). Bien que la plupart des pesticides soient instables en milieu acide et alcalin, le taux de dégradation est plus fort sous des conditions basiques (20) (Fig.9). Une étude menée par TRW Systems Group pour l'E.P.A. en 1975 concluait que le traitement alcalin était efficace et sécuritaire pour des petits volumes de naled, diazinon, guthion, malation, carbaryl, captan et

(a)



(b)



D'après HACKMAN (1976)

Figure 9: Hydrolyse chimique de quelques pesticides

(a) Effet du pH et de la température sur le malathion

(b) Hydrolyse du parathion à 15°C

atrazine. Les auteurs affirmaient aussi qu'il n'existait pas de moyen chimique (dégradation/détoxication) pour le Dursban, méthyle parathion, maneb, alachlore, diuron, piclorame, trifluralin, méthoxychlore, chlordane, toxaphène, 2,4-D, chlorambin et le pentachlorophénol (8).

Dans le cas de l'aminocarbe (Matacil 180D ou 180F) et du fénitrothion (Sumithion), deux insecticides chimiques utilisés pour la lutte contre la TBE au Québec, les fabricants respectifs de ces deux produits suggèrent un traitement alcalin à un pH de 10 ou plus.

La solution de fénitrothion peut, si nécessaire, être chauffée à 40°C ou plus pendant au moins 2 heures et ensuite laissée au repos toute la nuit pour une décomposition complète (Sumitomo Chemical America Inc.,1984). La destruction alcaline de l'aminocarbe produit des phénols et de l'acide carbamique ou leurs produits de décomposition que sont le CO_2 et le méthylamine (Chemagro Ltd, 1984).

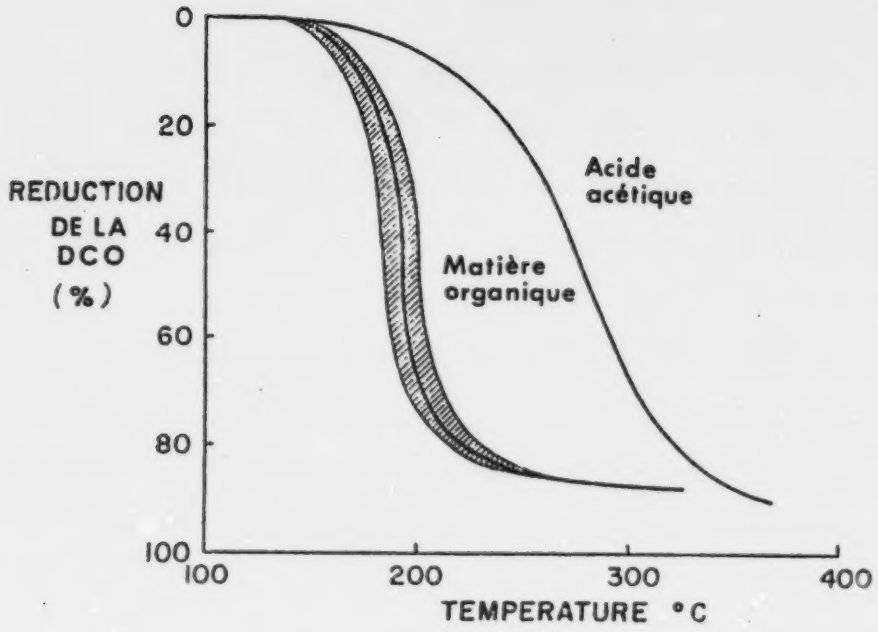
Il est généralement reconnu que l'hydrolyse chimique est surtout applicable au niveau de l'utilisateur qui traite ses résidus et leurs contenants (triple rinçage) et dans des limites relativement étroites. Au niveau industriel, les fabricants appliquent l'hydrolyse chimique comme étape intermédiaire dans le traitement de leurs effluents (13).

II.2 Oxydation en air humide

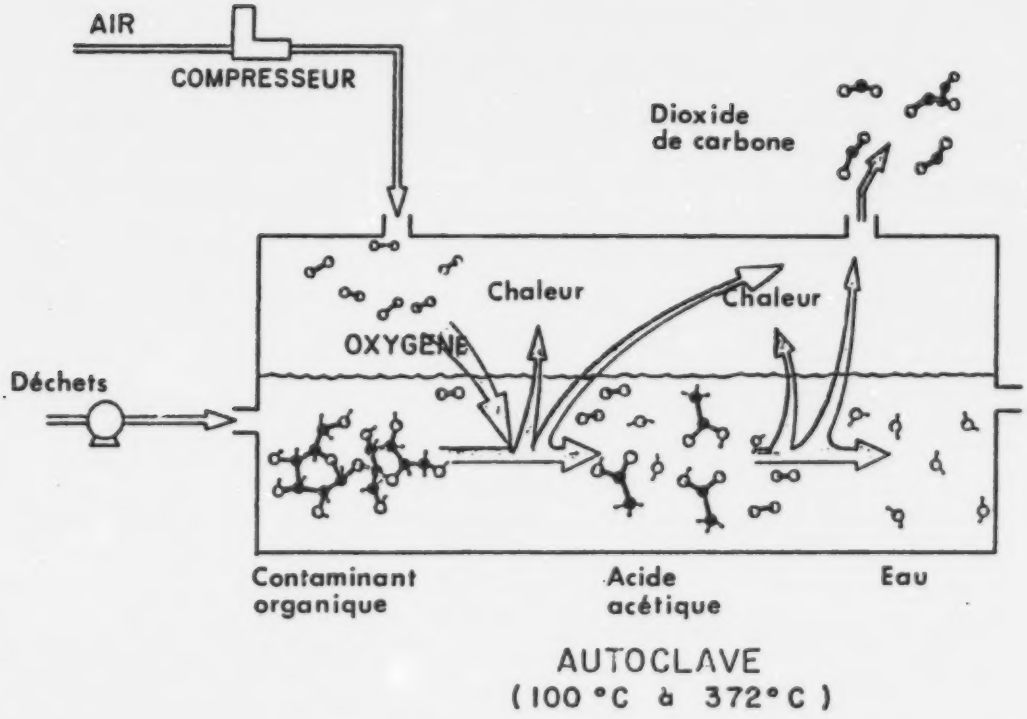
II.2.1 Principe

C'est un procédé d'oxydation par air ou par oxygène, en milieu aqueux. La plupart des matériaux combustibles sont oxydés, en phase liquide, à une température et une pression élevées. La réaction produit une certaine quantité d'énergie récupérable à

(a)



(b)



D'après CADOTTE et LAUGHLIN (1978)

Figure 10: Oxydation humide

(a) Effet de la température

(b) Principe

partir d'un effluent relativement dilué. Le procédé s'applique idéalement à un liquide contenant 1 à 20% de déchets en solution. Il suffit de 1 à 3% de matière organique pour générer l'énergie nécessaire au maintien des conditions de pression et de température sans apport supplémentaire d'énergie. L'oxydation humide convient aussi aux déchets non-biodégradables ainsi qu'aux déchets toxiques ou dangereux (7).

Trois type de réactions chimiques se déclenchent simultanément: oxydation hétérogène (surface solide), hydrolyse, oxydation en phase liquide. Les composés de haut poids moléculaire sont généralement décomposés en dioxyde de carbone, eau et des produits intermédiaires tels l'acide acétique, le méthanol, le formaldéhyde (Fig.10.b). Les conditions opératoires assurent une oxydation aisée des composés toxiques (cyanures, nitriles, thiocyanates, etc...) et une rapide destruction des produits odorants tels que les mercaptans (25).

Le succès de l'oxydation humide dépend principalement de la température. Ainsi, à 150°C, environ 5 à 15% de la demande chimique en oxygène (DCO) est détruite, alors qu'à 320°C on observe une combustion presque totale (Fig. 10.a). On recherchera donc la température la plus élevée dans les limites pratiques imposées par la pression, les risques de corrosion et les coûts qui en découlent.

II.2.2 Le procédé ZIMPRO

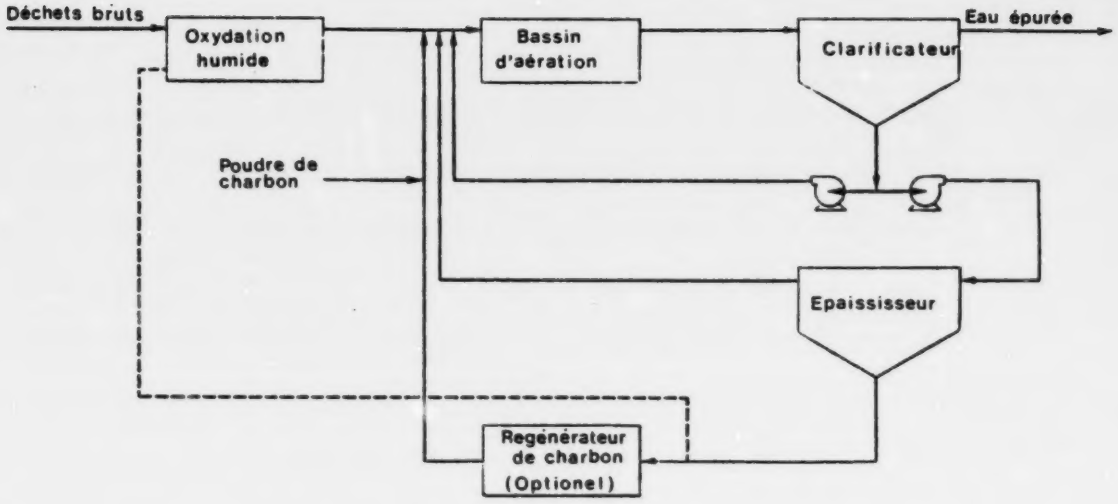
La compagnie Zimpro Inc. a développé depuis plusieurs années un procédé d'oxydation humide qui traite les effluents d'usines d'acrylonite, glutamate monosodique, caoutchouc, coke métallurgique, et de produits pétrochimiques et pharmaceutiques.

Plus récemment, la compagnie a défini un procédé en deux étapes faisant intervenir une oxydation bio-physique couplée à une oxydation humide destinée à l'élimination des effluents toxiques et en particulier ceux provenant d'usines de pesticides (25). L'option choisie pour ces derniers consiste à effectuer une oxydation humide suivie d'une unité de boues activées dans laquelle on ajoute de la poudre de charbon activé en excès (10 à 20 g/l). L'action du charbon activé améliore la floculation, l'absorption des molécules toxiques et des odeurs et l'oxydation (Fig. 11.a). La première phase réduit de 80 à 95% la DCO et déplace ainsi le rapport DBO * /DCO de 0.27 à 0.85 en moyenne. C'est ainsi que des effluents industriels issus de la production de complexes organiques, intraitables par les voies biologiques conventionnelles, ont montré une réduction en DCO et DBO_5 respectivement de 99.5% et 99.9% en combinant la double oxydation (Fig. 11.b).

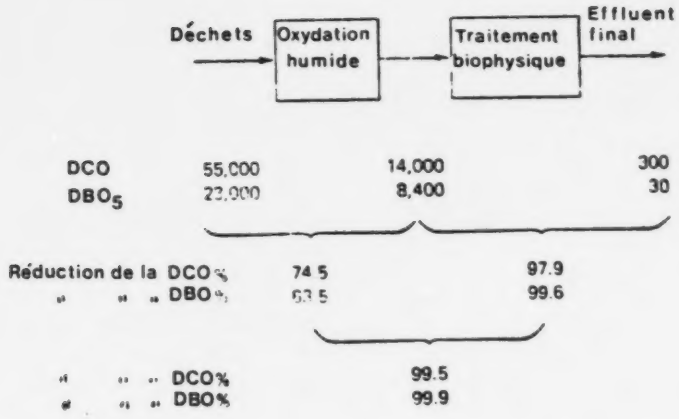
II.3 Procédé d'ozonation et de radiation dans l'ultra-violet

Alors que l'action de l'ozone et des radiations U-V ne sont pas très efficaces individuellement, leur combinaison améliore considérablement la dégradation des éléments toxiques en milieu aqueux (20).

* DBO ou DBO_5: demande biologique en oxygène après 5 jours.



(a)



(b)

D'après WILHELMI et ELY (1976)

Figure 11: Le procédé d'oxydation humide ZIMPRO

(a) Traitement biophysique en deux étapes

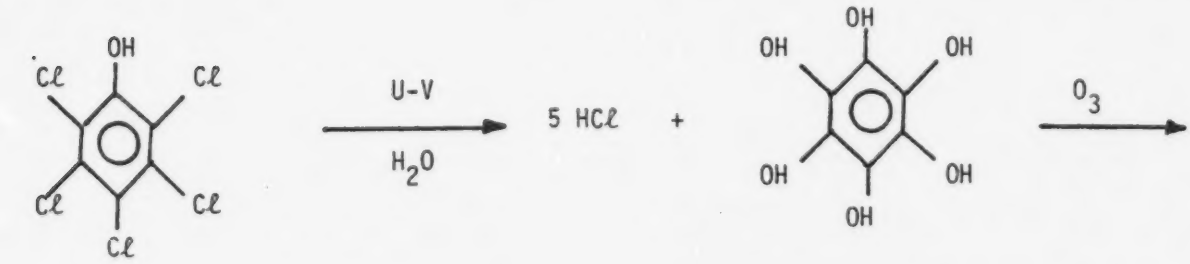
(b) Oxydation humide de déchets chimiques

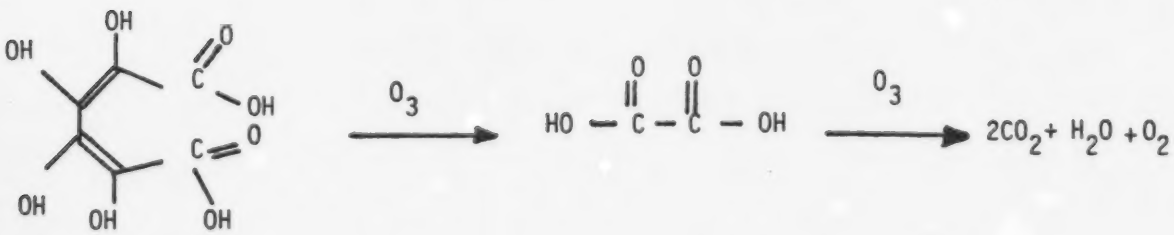
Houston Research Inc. a mis au point une telle méthode pour la destruction ou la détoxication de produits chimiques dangereux en solution, incluant des cyanures et des pesticides (8). L'effluent est placé dans un réacteur muni d'un diffuseur à gaz dans le fond et d'une lampe à mercure à haute pression. Le contrôle de la température et du pH est assuré par des capteurs. L'ozone est généré par décharge électrique et la quantité en excès traverse une solution d'iodure de potassium avant d'être relachée dans l'atmosphère (Fig. 12.a).

Les réactions chimiques qui s'opèrent sont fonction du substrat. En général pour les pesticides, une première phase d'activation par l'U-V porte les molécules organiques à un état énergétique élevé, suivi d'une oxydation très intense par l'ozone:

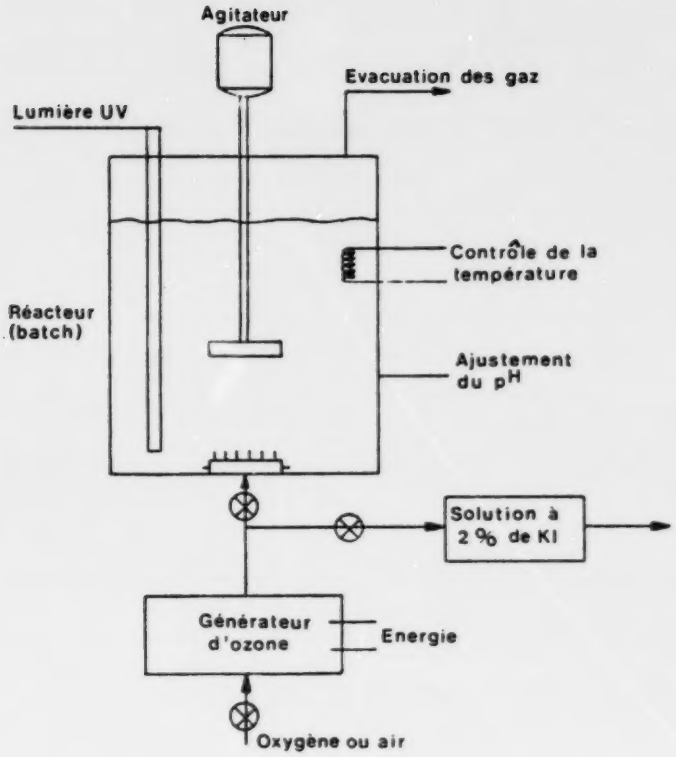
$$\text{Pesticide} + O_3 \xrightarrow[H_2O]{\text{U-V}} CO_2 + H_2O + \text{composés simples}$$

Par exemple dans le cas du pentachlorophénol (PCP), on observe d'abord une déhalogénation suivie d'une oxydation du noyau benzénique:

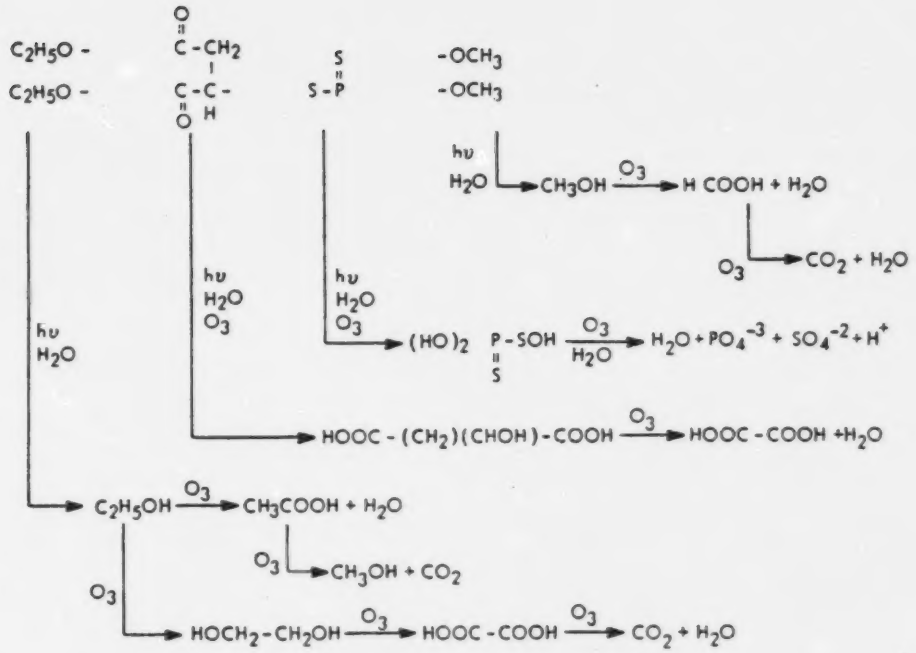




(a)



(b)



D'après MAUK et al. (1976)

Figure 12: Procédé ozone/U-V

(a) Unité pilote

(b) Réaction de dégradation du malathion

Dans le cas du malathion, au moins quatre mécanismes dégradent séparément la molécule (Fig. 12.b). La réaction globale est décrite ci-dessous:

$$C_{10}H_{19}S_2PO_6 + 64\,O_3 \quad 19H_2O + 20CO_2 + 45O_3 + P_2O_5$$

Des essais, effectués dans un réacteur de 20 litres, ont permis d'évaluer le pouvoir de destruction de la combinaison de l'ozone avec le rayonnement U-V sur plusieurs pesticides (TABLEAU V).

Tous les pesticides sont susceptibles d'être aussi bien dégradés par ce procédé, y compris les pesticides organométalliques. Jusqu'à présent le procédé n'a pas dépassé le stade expérimental.

TABLEAU V : Elimination des pesticides par ozonation /U-V

Pesticide	Température (oC)	Ozone (ppm)	U-V (W/ℓ)	Détoxication (%)	Concentration initiale (ppm)	Concentration finale (ppm)	Temps de réaction (min.)
DDT	30	10	1.32	> 99.9	0.057	< 0.0005	30
PCP	30	10	1.32	> 99.3	71.0	< 0.5	15
Malathion	25	50	1.32	> 99.8	55.0	< 0.1	30
Baygon R	25	20	1.32	> 99.8	49.0	< 0.1	30
Vapam R	25	20	1.32	> 99.3	70.0	< 0.5	30

D'après MAUK et al (1976)

CHAPITRE III - TRAITEMENTS BIOLOGIQUES

III.1 Généralités

Les méthodes biologiques doivent être employées pour réduire ou éliminer des déchets de pesticides "biodégradables", généralement un composé organique qui puisse servir de source de carbone pour les microorganismes. Il est évident que ces derniers doivent être tolérants aux propriétés toxiques du substrat, au moins au niveau des concentrations employées.

Les conditions opératoires varient suivant la nature du procédé et de la biomasse. La température et le pH peuvent aller d'un extrême à l'autre; le niveau de l'oxygène est maintenu aussi haut que possible dans les traitements aérobies; inversement en conditions anaérobies où une source supplémentaire de carbone - le plus souvent du méthanol - est ajoutée; l'absence de métaux toxiques est impérative dans tous les cas (8).

La complexité et la sensibilité des systèmes biologiques expliquent les difficultés à maîtriser cette technologie malgré d'importantes recherches au niveau fondamental. Cependant, ce domaine présente une alternative intéressante dont certaines applications se sont déjà avérées concluantes.

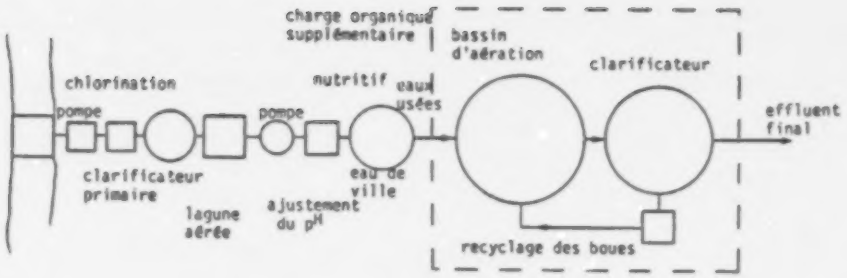
III.2 Boues activées

Des recherches portant sur la dégradation biologique de plusieurs classes de pesticides ont montré que les cultures microbiennes se développent relativement bien sur ces substrats. Ainsi, un certain nombre d'industries chimiques utilisent cette faculté pour traiter

leurs déchets liquides.

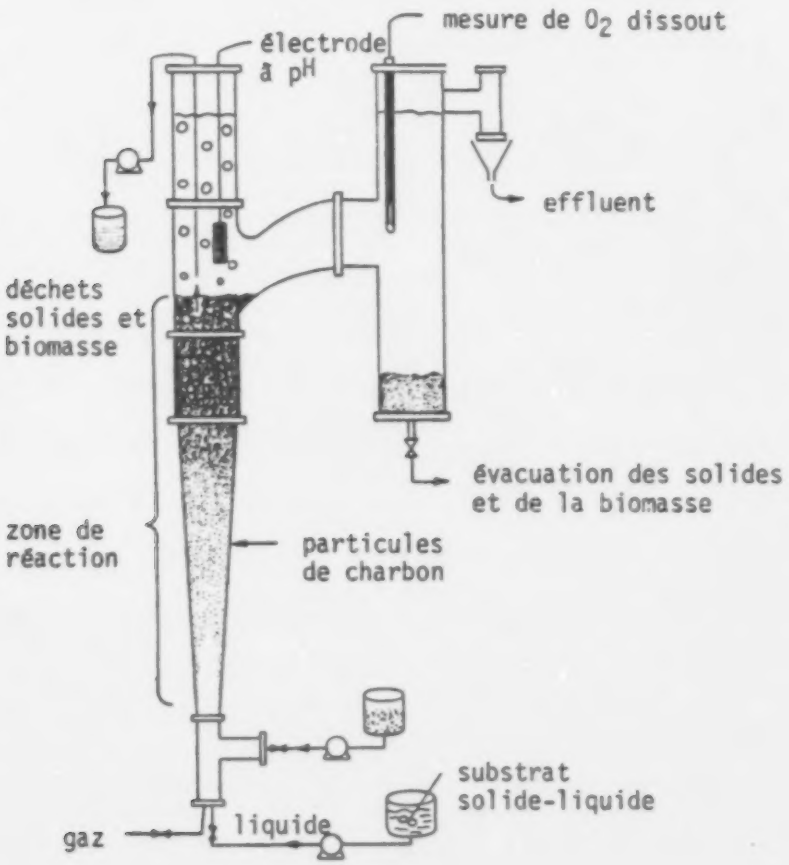
L'effluent subit très souvent une neutralisation dans des réservoirs qui servent aussi à régulariser l'alimentation afin d'éviter une surcharge. De nombreuses firmes se sont équipées du système d'aération UNOX conçu par Union Carbide qui fournit un taux d'oxygène dissout de 42 mg/l (au lieu 9 mg/l avec de l'air) ce qui améliore le métabolisme des composés aromatiques. Des charges moyennes de 1,500 à 2,000 mg/l en DBO et de 3,000 à 4,000 mg/l en DCO sont réduites, dans de bonnes conditions, respectivement de 95 et 85% au minimum (20).

Chemagro Corp. (St-Louis, Missouri) a choisi cette voie pour traiter ses effluents liquides contenant des résidus de près de 30 préparations de différents pesticides organo-phosphorés, en plus des résidus de préparations expérimentales à différents stades de développement (19). Le substrat est donc caractérisé par de fortes DBO et DCO, peu de solides en suspension, une toxicité biologique aiguë et une concentration élevée en phosphate organique. L'unité pilote est décrite à la Figure 13. Les essais ont montré l'importance de la phase de détoxication assurée par une lagune aérée qui, en outre, amortit les chocs dus aux surcharges et conserve l'homogénéité du matériel enzymatique pour l'étape suivante. Dans de telles conditions, l'élimination des phosphates (PO_4) atteignait 95%, alors que la réduction de la DBO variait entre 90 et 98%.



D'après LUE-HING et BRADY (1969)

Figure 13: Station pilote d'épuration biologique



D'après LEE et SCOTT (1977)

Figure 14: Bioréacteur à lit fluidisé

III.3 Lits fluidisés

La technique des lits fluidisés est relativement récente dans le domaine de l'épuration biologique des effluents liquides. Destinée préférentiellement aux effluents ayant peu de solides en suspension (pollution dissoute), elle trouve de nombreuses applications dans le domaine de l'eau potable comme dans celui des eaux usées.

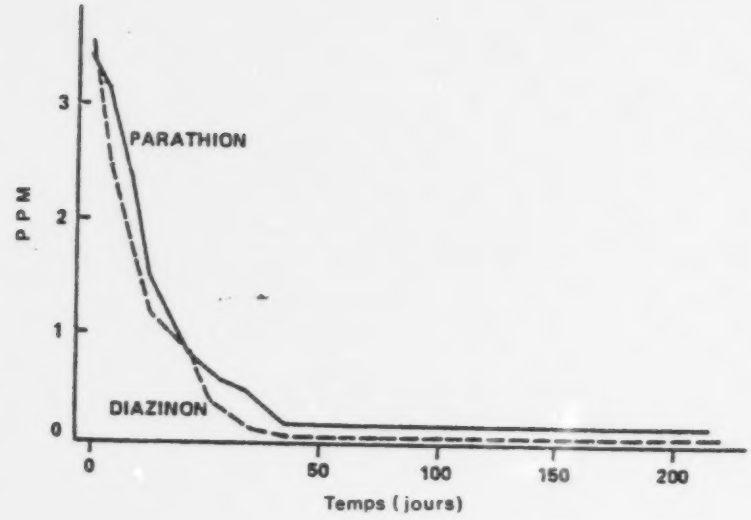
Aux Etats-Unis par exemple, un bioréacteur à lit fluidisé fuselé a été utilisé pour la production d'hydrogène gazeux (procédé enzymatique), la dénitrification microbienne et la biodégradation des effluents d'une usine de conversion du charbon chargés d'hydrogène sulfureux, d'ammoniac, de phénols, de thiocyanates et d'autres hydrocarbures (8).

Cette unité est composée d'une colone dont la base est cônique (Fig. 14). L'effluent est injecté au bas du réacteur et circule à co-courant avec le flux gazeux. Le lit fluidisé est composé de particules de charbon de 0.04 à 0.07 cm de diamètre qui sont maintenues en suspension suivant un gradiant de concentration croissant. La forme fuselée du réacteur crée un maximum de vitesse des particules dans la partie inférieure et prévient ainsi toute décantation dans cette zone. L'épuration atteint un maximum d'efficacité dans la zone supérieure où les particules se saturent de biomasse avant d'être recyclées.

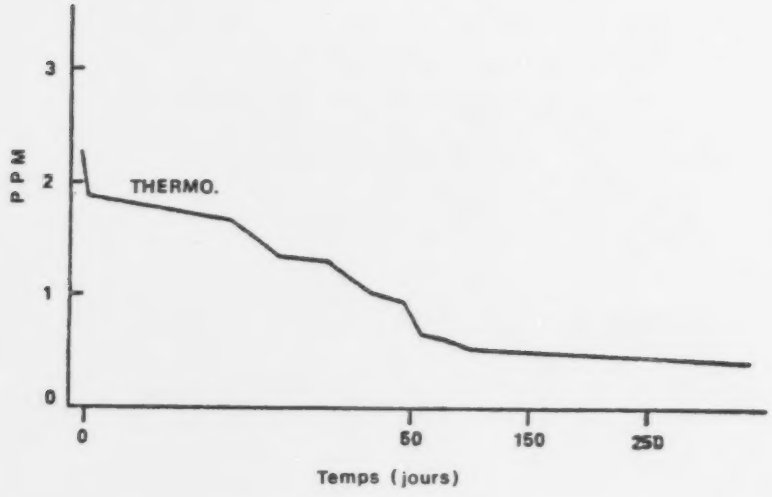
III.4 Compostage

Le compostage est une dégradation biologique de la matière organique sous des conditions contrôlées dont l'optimum peut se résumer ainsi:

- présence d'oxygène;
- 40 à 60% de matière solide;



(a)



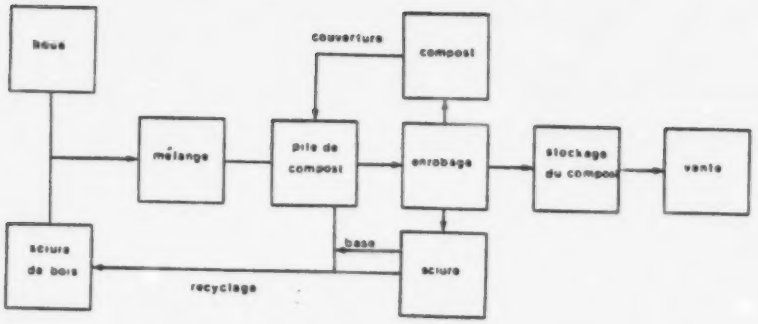
(b)

D'après EPSTEIN et ALPERT (1979)

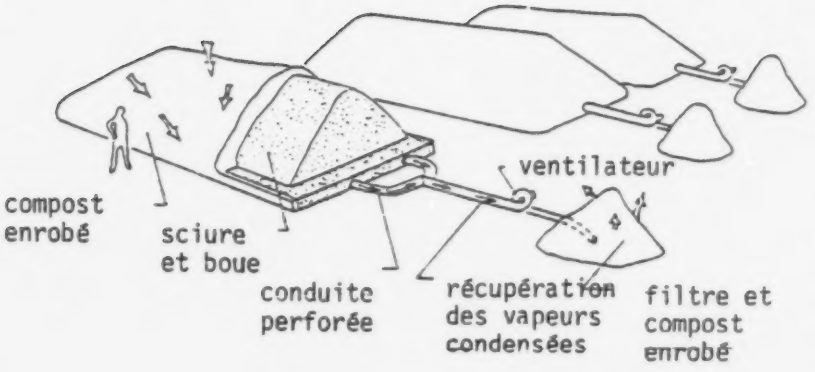
Figure 15: Evolution des concentrations de pesticides au cours du compostage

(a) Cas du diazinon et du parathion

(b) Cas du DDT



(a)



(b)

D'après EPSTEIN et ALPERT (1979)

Figure 16: Procédé industriel de compostage

(a) Principe

(b) Méthode de la pile aérée

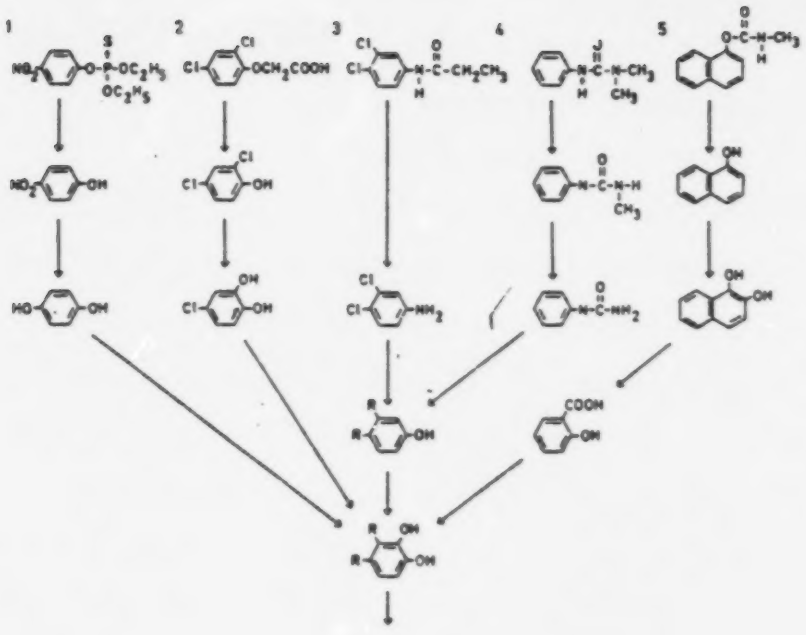
- un rapport carbone-azote entre 20 et 30.

Le compostage peut être mésophile ou thermophile quoique l'on cherche plutôt à atteindre de hautes températures (80 à 90°C) qui entraînent une pasteurisation du compost.

Les pesticides ont déjà fait l'objet d'investigations dans ce domaine, comme le montre la Figure 15. Energie Ressources Co. (ERCO) détient un procédé de compostage capable de dégrader des déchets des industries chimiques, pétrochimiques, pharmaceutiques et des pâtes et papiers (9). La compagnie utilise la méthode de la pile aérée (aération forcée) avec des boues contenant 22% de matières solides mélangées à un matériau cellulosique pour ajuster l'humidité et le rapport C/N (Fig. 16.a). Des tas de 50 tonnes, de section triangulaire, recouvrent un tube perforé qui assure une aération de l'extérieur vers l'intérieur (Fig. 16.b). Le niveau d'oxygène est maintenu entre 5 et 15% sur une période de 27 jours nécessaire à la stabilisation, la décomposition rapide des solides organiques volatiles et la disparition d'odeurs. Des recherches ont pour but d'accélérer la biodégradation par l'action d'enzymes ou de souches mutées. A l'heure actuelle, le compostage reste une technique de disposition des moins onéreuses.

III.5 Détoxication enzymatique

Les métabolismes microbiens de plusieurs catégories de pesticides ont été évalués chez des espèces bactériennes (Pseudomonas, Brevibacterium, Alcaligenes, Xantomonas, Arthrobacter); des cultures de champignons (Aspergillus, Fusarium, Pennicilium, Trichoderma, Mucor); des cultures d'Actinomycètes (Norcadia et Streptomyces) (Fig. 17).



D'après MUNNECKE (1978)

Figure 17: Métabolismes microbiens de pesticides aromatiques

1- Parathion

2- 2,4-D

3- Propanil

4- Fenuron

5- Carbaryl

TABLEAU VI : Dégradation enzymatique des pesticides

PESTICIDE	ENZYME	ACTIVITE SPECIFIQUE (nmol/mg)
1. Phénylcarbamates		
CIPC	estérase	2.2
IPC	estérase	1.5
2. Acides aniliques		
Propanil	acylamidase	3.0
Propanil	acylamidase	249.0
Acetanilide	acylamidase	77.0
Karsil	acylamidase	194.0
3. Phényluréas		
Linuron	acylamidase	0.2
Monolinuron	acylamidase	0.2
4. Phénoxyacétates		
2,4-D	estérase	16.5
MCPA	estérase	1.0
5. Organophosphorés		
Malathion	estérase	---
Paraoxon	estérase	13.0
Paraoxon	estérase	3600
Parathion	estérase	3000
Trizophos	estérase	4350
Diazinon	estérase	1200
Methyl parathion	estérase	600
Dursban	estérase	600

D'après MUNNECKE (1978)

La dégradation enzymatique des pesticides est particulièrement efficace pour les organophosphates et les carbamates où les produits d'hydrolyse sont 60 à 200 fois moins toxiques (21). Le tableau VI présente des enzymes qui opèrent sans co-facteurs et ne nécessitent pas de sels particuliers bien que dans certains cas ceux-ci augmentent l'activité enzymatique (20).

Alors que la technologie des procédés à enzymes immobilisés ou en solution est de mieux en mieux maîtrisée, aucune application d'envergure n'est encore apparue. Une étude en laboratoire a pourtant démontré l'efficacité d'un enzyme hydrolysant 97% d'une solution contenant 10 ppm de parathion. L'enzyme était fixé sur un verre poreux dans une colonne traversée par un débit de 27 l/h. On notait un maximum d'activité à 45°C et un pH optimum situé entre 8.5 et 9.5. En plus de dégrader le parathion en acides phosphoriques et phénols, l'enzyme gardait cette même propriété sur huit autres pesticides organophosphorés avec des vitesses de réaction jusqu'à 2,500 fois plus rapides que l'hydrolyse chimique (8). L'hydrolyse enzymatique est donc une méthode de détoxication des pesticides très prometteuse qui pourrait jouer un rôle important dans le prétraitement des effluents liquides en aval d'un procédé d'épuration biologique.

III.6 Inoculum de bactéries mutées

La principale difficulté qui ressort du traitement des pesticides par biodégradation est l'acclimatation de la biomasse, souvent très longue et délicate, et la grande sensibilité des microorganismes face aux variations de la charge appliquée. La sélection de souches bactériennes capable de dégrader rapidement certains composés

spécifiques peut s'obtenir par mutation du matériel génétique. Une fois isolées, les cultures mutantes servent d'inoculum dans les procédés biologiques décrits précédemment afin d'éviter les problèmes cités.

Il existe par exemple une préparation brevetée par Worne Biochemicals Inc. (Berlin, New Jersey) constituée de souches bactériennes mutées et des éléments nécessaires à leur croissance (8). Cette préparation, Phenobac ^{MD}, est capable de dégrader les produits suivants: dérivés du benzène; phénols; crésols; naphtalènes; amines; alcools, détergents et surfactants synthétiques; lignine et dérivés cellulosiques; essence, kérosène, cyanures (dilués) et autres déchets toxiques de raffineries, d'usines de pâtes et papiers, d'industries textiles et agro-alimentaires.

Les auteurs insistent sur les nombreuses applications dans les raffineries et les usines de produits chimiques organiques. Dans ce sens, ils ont publié des résultats obtenus sur des effluents d'usines fabricant des pesticides (TABLEAU VII).

TABLEAU VII : Biodégradation par bactéries mutées (Phénobac^{MD}).

Composé et procédure	concentration initiale (mg/l)	destruction %	temps de réaction (h)
Halophénols (mutant Pseudomonas, boues activées)			
Phénols	500	100	10
2,4-Dichlorophénol	200	100	35
Pentachlorophénol	200	26	120
2,3,5-Trichlorophénol	200	100	55
Aryl Amines (mutant Aérobacter, lagunes aérées)			
o-Dianisidine	500	100	40
m-Toluidine	500	100	10
2,4,6-Trichloroaniline	500	100	30
aniline	500	100	15
Aryl Halides (mutant Pseudomonas, filtre biologique/boues activées)			
1,2,4,5-Tétrachlorobenzène	200	80	120
1,3,5-Trichlorobenzène	200	100	50
m-Dichlorobenzène	200	100	30
Hexachlorobenzène	200	0	120

D'après Phénobac ^{MD} (1977)

La préparation peut être ajoutée à n'importe quelle unité de traitement biologique aérobie qui satisfasse aux conditions ci-dessous:

pH	4.5 à 9.5
Oxygène dissout	1.0 ppm minimum
Rapport C/N/P	100/5/1
Température	10 à 40°C

Le fabricant de pesticides Mobay Chemical Company (New Martinsville, West Virginia) a choisi d'incorporer à son procédé la préparation Phenobac^{MD} à la suite d'une perte de 95% de biomasse du bassin de boues activées qui traite des effluents contenant un grand nombre de précurseurs de produits anti-parasitaires. L'unité d'épuration, d'une capacité de 21 millions de litres par jour, a été ensemencée initialement à un taux de 5.4 kg/million de litres puis réduite à 0.11 kg/million de litres jusqu'à stabilisation de la population microbienne. La station était à nouveau opérationnelle après un mois d'acclimatation. Les résultats du TABLEAU VIII résument les performances du PHENOBAC^{MD} après trois mois de fonctionnement.

TABLEAU VIII : Performances d'un bassin d'aération ensemencé avec PHENOBAC^{MD}

Paramètre	Concentration initiale(mg/l)	Concentration finale (mg/l)	Abattement %
Phénol	23.39	0.433	98.1
Huiles et graisses	31.6	13.9	56.0
DCO	717	231	67.8
DBO	312	16	94.9
COT (carbone organique total)	228	79	65.4

D'après DILLON (1981)

CHAPITRE IV - UTILISATION DU SOL

Les principales méthodes d'utilisation du sol sont:

- l'incorporation dans le sol,
- l'enfouissement,
- l'injection profonde,

Suivant la méthode utilisée, plusieurs phénomènes physico-chimiques et biologiques entraînent une disparition partielle ou totale des déchets de pesticides par:

- photo-décomposition,
- volatilisation,
- biodégradation aérobie/anaérobie,
- lixiviation.

IV.1 Incorporation dans le sol

Les taux d'applications agricoles de la plupart des pesticides laissent des concentrations résiduelles dans le sol d'environ 10 ppm ou moins. Les facteurs qui régissent leur dégradation biologique ont été largement étudiés en tant que principaux paramètres de la persistence des pesticides dans le sol. Par la suite, cette propriété des microorganismes du sol fut évaluée dans le but d'éliminer des solutions fortement concentrées (10,000 à 40,000 ppm). Certains pesticides étaient dégradés après quelques jours alors que d'autres persistaient dans le sol après plusieurs années.

Cependant, aucune étude menée dans ce domaine n'a pu garantir d'une part, l'efficacité réelle de cette méthode, et d'autre part, l'absence de risques pour l'environnement.

Ainsi par exemple, l'application d'une solution de 50 à 250 ppm d'herbicide 2,4-D sur un sol désertique de l'Oregon (Etats-Unis) ne laissait aucun résidu détectable après 18 mois; alors que des concentrations de 10,000, 20,000 et 40,000 ppm d'herbicide Orange (2,4-D et 2,4,5-T) étaient seulement réduites de 83 à 88% après 15 mois dans le désert de l'Utah (Etats-Unis).

L'utilisation de cultures microbiennes adaptées ou de sols enrichis peut améliorer les rendements de dégradation dans certaines limites. Tel a été le cas sur des préparations de parathion de 5,000 et 10,000 ppm qui furent métabolisées jusqu'à 86 et 21% respectivement, alors qu'aucun effet notable n'apparaissait autrement. On relevait toutefois une intoxication du milieu avec la solution la plus concentrée comme l'ont montré les résultats (20).

Parallèlement, les questions d'écoulement des eaux de lixiviation présentent des risques de contamination non seulement de la nappe phréatique, mais aussi parfois des eaux de surface. De même qu'en l'absence de contrôle sur le processus de décomposition, des métabolismes secondaires peuvent mener à la formation de composés non-assimilables par les microorganismes (20).

IV.2 Enfouissement

L'enfouissement des déchets de pesticides reste encore la méthode la plus économique. Elle est largement employée aux Etats-Unis où environ 40% des déchets de l'industrie des pesticides sont directement ou indirectement éliminés par enfouissement. De même, la plupart des utilisateurs de pesticides se débarassent des contenants usagés et des préparations inutilisées en les envoyant dans des sites d'enfouissement (20).

Les sites d'enfouissement les plus sécuritaires sont situés dans les régions désertiques, alors que dans les régions humides les contrôles sont multiples. Dans tous les cas, il s'agit de sites d'enfouissement spécialement conçus pour recevoir des déchets (liquides, semi-liquides, solides) industriels, toxiques ou dangereux tels les sites de la catégorie I en Californie (Etats-Unis). Leur particularité réside dans les mesures prises afin de minimiser les risques d'écoulements verticaux et horizontaux du lixiviat. Pour cela on utilise des matériaux imperméables tels que l'argile ou bien des barrières synthétiques de polymère ou d'asphalte. Les déchets sont déposés à une profondeur d'environ 6m, puis compactés et recouverts de 15 cm de terre. La couverture finale du site doit être au moins de 45 cm pour isoler les déchets (2).

La mobilité des pesticides peut être relativement importante dans un sol perméable, alors qu'elle serait plutôt faible dans les sols argileux et fortement organiques (TABLEAU IX). Un suivi rigoureux doit donc être effectué pour déceler toute contamination dans les eaux souterraines et de surface ainsi qu'au niveau des prises d'eau potable environnantes (24).

TABLEAU IX : Mobilité relative des pesticides dans le sol

Immobile	Légèrement mobile	Mobile
Aldrin	Atrazine	2,4-D
Chlordane	Simazine	2,4,5-T
DDT	Prométryne	MCPA
Dieldrine	Azinophosméthyl	Picloram
Endrine	Carbophention	Fenac
Heptachlore	Diazinon	
Toxaphène	Ethion	
TDE	Méthyl Parathion	
Lindane	Lindane	
Epoxyde d'heptachlore	Epoxyde d'heptachlore	
Trifluralin	Parathion	
	Phorate	
	Diuron	
	Monuron	
	Linuron	
	CIPC	
	IPC	
	ERTC	
	Pelubate	

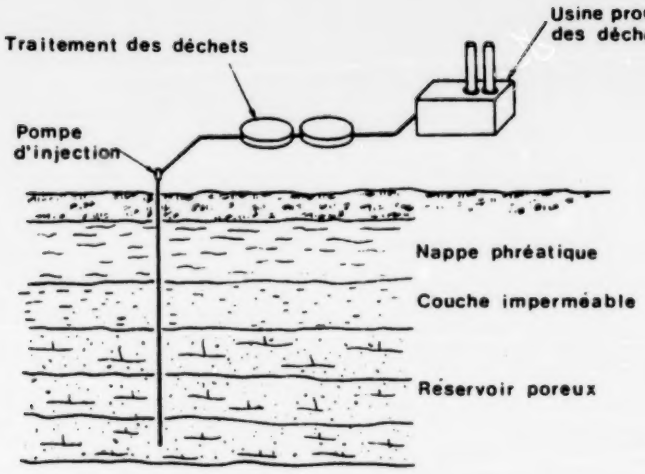
D'après WORKING GROUP ON PESTICIDES tiré de Atkins (1972)

L'enfouissement ne constitue pas une méthode de traitement des déchets et comporte des risques environnementaux qui ont déjà provoqué de sérieux dommages par le passé. Nous ne citerons que l'exemple d'un site pour déchets chimiques industriels contenant endrine, heptachlore et époxyde d'heptachlore, qui contamina les eaux souterraines situées à 30 m sous le site (20).

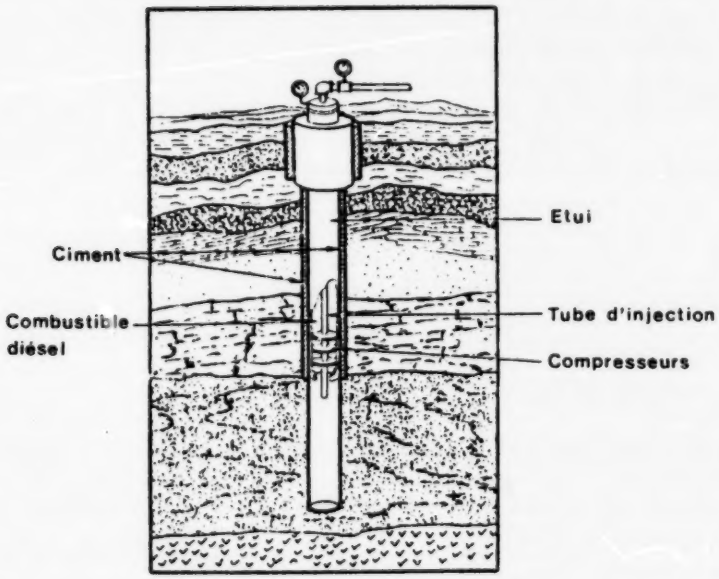
IV.3 Injection en puit profond

L'injection en puit profond est pratiquée depuis longtemps pour se débarrasser des déchets dangereux sans aucune autre forme de traitement. En 1973 aux Etats-Unis, on comptait plus de 278 puits en activités, destinés principalement aux déchets des industries chimiques, pétrochimiques et pharmaceutiques (2). La majorité d'entre eux a une profondeur de 300 à 1,800 m et une capacité d'injection inférieure à 25 l/s (Fig. 18).

L'Agence pour la Protection de l'Environnement ne recommande pas cette alternative pour la disposition des déchets dangereux en raison du devenir des produits injectés incertain et incontrôlable et des risques de contamination de l'environnement. Un puit utilisé par l'armée américaine au Colorado est même soupçonné d'être à l'origine de secousses sismiques inhabituelles dans cette région (20). Paradoxalement, la législation sur le contrôle de la pollution des eaux de 1972 favorisa l'expension des puits profonds puisqu'elle portait sur les eaux de surface en négligeant les eaux souterraines (Federal Water Pollution Control Act Amendments, 1972).



(a)



(b)

D'après POWERS (1976)

Figure 18: Injection en puit profond

(a) Vue globale

(b) Système d'injection caractéristique

CHAPITRE V - EVALUATION ECONOMIQUE DES PROCEDES

Nous ne prétendons pas exécuter une étude économique détaillée, mais simplement permettre au lecteur de juger rapidement de l'importance du facteur "coût" pour chacun des procédés décrits auparavant. En raison des origines variées et plus ou moins récentes de nos références, il a été nécessaire de transformer les chiffres avancés en dollars canadiens constants de l'année 1984.

Les données que nous avons rassemblées sont toutes en dollars U-S sauf deux qui sont en dollars canadiens; d'autre part, elles ont été publiées entre les années 1972 et 1984. Deux étapes sont donc nécessaires pour les ramener sur la base du dollar canadien d'aujourd'hui: tout d'abord convertir ces prix en monnaie canadienne de la même année, pour ensuite les transformer en dollars de l'année 1984. Pour la première étape, nous avons utilisé les facteurs de conversion annuels publiés dans la Revue de la Banque du Canada (ANNEXE I.1). Ensuite, nous nous sommes basés sur les indices des prix à la consommation pour le Canada calculés par Statistiques Canada (ANNEXE I.2).

Les données recueillies sont incomplètes pour discuter objectivement de l'investissement respectif de chaque méthode. Il sera donc question ici des coûts d'opération des différents procédés qui sont présentés en $CAN. (1984) par tonne métrique de déchets traités (TABLEAU X).

Un classement sommaire placerait donc l'utilisation du sol comme l'alternative la moins coûteuse, suivi des traitements thermiques, puis des procédés physico-chimiques et enfin des méthodes biologiques. C'est d'ailleurs suivant cette même hiérarchie que se répartissent les solutions choisies pour l'élimination des déchets de pesticides, à l'heure actuelle, sur l'ensemble des pays concernés.

TABLEAU X: Coûts d'opération

PROCEDE	COUT ($CAN(84)/T)	REFERENCE
1. THERMIQUE		
1.1 Incinération	6 - 112	SCULLOCK 1975 **
	5 - 170	MUNNECKE 1979
- déchets liquides	44 - 109	LEHMAN 1974*
- déchets chlorés	372 - 435	SHIH 1978**
- sels en fusion	1,384	DILLON 1981
- incinération en mer	68 - 153	HALEBSKY 1979
- projet SERDOQ	125 - 580	BARTER 1984
1.2 Plasma		
- pyroplasma	204	BARTON 1979
- micro-ondes	287 - 1,014	BAILIN 1976
2. PHYSICO-CHIMIQUE		
2.1 Hydrolyse	1 - 43	ATKINS 1972
	29	MUNNECKE 1979
2.2 Oxydation humide	746	ADAMS 1976**
3. BIOLOGIQUE		
3.1 Boues activées (DBO éliminée)	287 - 612	MUNNECKE 1976
3.2 Enzymatique	1,894 - 3,787	MUNNECKE 1978
3.3 Phenobac MD (DBO éliminée)	4 - 25	PHENOBAC 1977**
4. SOL		
4.1 Enfouissement	4 - 27	GRUBER 1975*
- Big Blue Hills (pesticides)	33	GHASSEMI 1975
- Site catégorie I	8 - 20	GHASSEMI 1975
4.2 Injection profonde	2 - 25	MUNNECKE 1979

* tiré de MUNNECKE (1979)
** tiré de DILLON (1981)

CONCLUSION

Hormis quelques rares cas isolés, il n'existe pas de méthode d'élimination des déchets de pesticides qui soit pleinement satisfaisante des points de vue économique et environnemental. Aucun procédé de traitement ni aucun mode de disposition n'a encore donné toutes les garanties recherchées à long terme et sur une grande échelle. Jusqu'à présent, les deux solutions les plus employées sont l'incinération et l'enfouissement; mais la première devient prohibitive avec le contrôle de plus en plus sévère des émissions gazeuses et la deuxième tend à disparaître en raison des risques environnementaux qu'elle comporte. Rappelons qu'elle est interdite au Québec pour les déchets toxiques. La plupart des autres méthodes présentées n'a pas dépassé le stade expérimental, que ce soient les procédés d'incinération dans un bain de sels en fusion, de pyrolyse, au plasma, enzymatiques, etc...

Cette situation est illustrée au TABLEAU XI qui présente l'état de l'art en matière d'élimination des déchets de pesticides, en incluant les facteurs technique, financier et d'impact sur l'environnement. Nous devons à nouveau signaler ici que certaines alternatives n'ont pas été abordées en raison de leur trop grande spécificité (déchlorination catalytique, chlorolyse, hydrodéchlorination); ou bien à cause de leurs résultats douteux ou incomplets (fixation chimique, sonocatalyse et ozonation catalytique); ou alors parce que les applications étaient très restreintes (charbon activé et résines adsorbantes).

Il n'en reste pas moins qu'aujourd'hui le seul procédé d'élimination dont on connait les paramètres de fonctionnement à grande échelle est l'incinération (cf. TABLEAU XI). Cette information est presque inexistante pour les autres méthodes qui, pour la majorité, n'ont pas encore atteint le stade de la commercialisation. Il apparaît aussi que les problèmes posés par l'implan-

TABLEAU XI : Comparaison technique, environnementale et économique des méthodes d'élimination.

PROCEDE	POTENTIEL POUR UNE APPLICATION A GRANDE ECHELLE	CONNAISSANCES TECHNIQUES (a)	APPLICATIONS FUTURES (b)	IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX (c)	IMPACTS ECONOMIQUES (d)
Incinération	Fort	1	4	6,9	13
Bain de sels fondus	Moyen	2	4	6,9	13
Plasma	Fort	2	4	6,9	11
Hydrolyse	Moyen	2	5	7,9	10
Oxydation humide	Moyen	2	5	7,9	12
Ozone/U-V	Faible	2	5	7,9	13
Biologique	Faible	3	5	7	11
Enfouissement	Faible	3	5	8	10

Adapté de DILLON (1981).

(a) 1: Méthode proche de la ou en démonstration - 2: Méthode dont les recherches ont abouties - 3: Données limitées ou inexistantes.

(b) 4: Universelle - 5: Limitée

(c) 6: Minime - 7: Possibilité d'une toxicité résiduelle - 8: Devenir incertain des déchets disposés - 9: Problèmes dûs aux cendres et aux eaux usées.

(d) 10: Faible investissement et coûts d'opération modérés - 11: Investissement et coûts d'opération modérés - 12: Investissement important et coûts d'opération modérés - 13: Investissement et coûts d'opération importants.

tation de centres d'élimination favorise le développement d'unités mobiles de traitement. Ceci est particulièrement vrai pour les procédés au plasma, ou bain de sels en fusion, d'ozonation/U-V, sans oublier l'incinération en mer autorisée par l'E.P.A. aux Etats-Unis.

3EME PARTIE: LA GESTION

A la lumière de la législation québécoise et du potentiel technologique, nous sommes maintenant en mesure de proposer une politique de gestion des déchets de pesticides. Compte tenu de l'expérience minime du Québec dans ce domaine, nous n'avons pas l'ambition d'apporter à la province la solution au problème auquel fait face un grand nombre de fabricants et d'utilisateurs de produits chimiques organiques. Notre objectif est plutôt de donner un outil de travail aux responsables des secteurs publics et privés dont les décisions touchent le domaine de l'élimination des déchets industriels, toxiques ou dangereux. Il n'est pas réaliste, en effet, d'imaginer un centre de traitement spécifique aux déchets de pesticides; leur élimination doit se faire conjointement avec d'autres déchets qui rencontrent les mêmes critères de traitement, ceci pour une simple raison de rentabilité. La deuxième partie du présent rapport le montre clairement.

La démarche employée est donc la suivante: nous devons tout d'abord identifier le problème par une description quantitative (projection) et qualitative (forme, composition) des déchets engendrés par le programme de lutte contre la TBE. Ces informations nous serviront d'hypothèses pour définir une politique à long terme en reprenant les solutions techniques que nous jugeons les plus adéquates. Nous aborderons auparavant la disposition des contenants après leur utilisation et nous tenterons d'établir une politique à court terme comprenant aussi des mesures d'urgence. Enfin, nous terminerons avec l'élimination des déchets de B.t. qui demande une attention particulière en raison de sa spécificité.

CHAPITRE I - IDENTIFICATION DES DECHETS

Le programme de lutte contre la TBE fait intervenir plusieurs produits anti-parasitaires qui diffèrent tant par leur composition, leur forme, que leurs caractéristiques (ANNEXE II). Les préparations pulvérisées ne sont jamais constituées de l'ingrédient actif seul; il s'agit le plus souvent d'une solution comprenant 3 à 15% d'insecticide pur et divers ingrédients tels que des solvants, des diluants, des colorants (ANNEXE III).

Le tableau XII présente l'ensemble des produits qui entrent dans les préparations pulvérisées. Il est important de noter dès maintenant qu'aucun d'entre eux ne contient d'éléments chimiques appartenant à la classe des halogénés (chlore, fluore, brome, iode).

La génération de déchets suite aux nombreuses manipulations de ces produits peut apparaître à divers stades (transport, stockage, mélanges, chargement), et de différentes façons (fuite, déversement, surplus, résidus). Nous devons aussi envisager la possibilité que certains produits perdent leur homologation au Canada ou bien qu'ils soient prohibés au Québec et qu'il faudrait alors éliminer.

La forme des déchets sera fonction de la source d'émission, de l'environnement bio-physique touché (sol, lac et cours d'eau) et du mode de récupération employé (pompage, pelletage, absorption, etc). Il en est de même pour la quantité de déchets générés qui peut varier de quelques litres dans le cas d'une simple fuite, à plusieurs milliers dans le cas d'un accident d'avion.

TABLEAU XII: Principaux produits incorporés aux préparations

NOM	FONCTION	NATURE
Fénitrothion(Sumithion)	insecticide chimique	organophosphoré
Aminocarbe(Matacil)	insecticide chimique	carbamate
B.t.(Dipel, Thuricide, Futura)	insecticide biologique	bactérie
Cyclosol 63	solvant	hydrocarbures aromatiques
Diluant 585	diluant	hydrocarbures aliphatiques
Automate Red B	colorant	
Sorbitol	nutrient	alcool
Eau	diluant	

D'autre part, une analyse par spectrométrie de masse couplée à un chromatographe en phase gazeuse (CPG/SM) a été réalisée sur des préparations d'aminocarbe et de fénitrothion ainsi que sur des tapis absorbants imbibés de chaque produit respectivement (TABLEAU XIII). Les recherches spécifiques n'ont pas permis de détecter la présence de chlore et d'autres précurseurs de dioxine (16).

Ainsi, nous pouvons raisonnablement formuler les hypothèses suivantes concernant la nature et la quantité des déchets:

- volumes variables (accumulation);
- solutions concentrées;
- mélanges d'ingrédients actifs et d'ingrédients inertes;
- déchets liquides ou/et solides;
- absence de chlore dans les préparations;

TABLEAU XIII: Analyse par CPG/SM des préparations d'aminocarbe, fénitrothion et de tapis absorbant contenant ces préparations.

Echantillon	HA(a) %	HCA(b) %	P(c) %	PA(d) %	I(e) %
Aminocarbe	56	22	15	2	5
Fénitrothion	36	54	1	1	9
Tapis 1	61	15	19	3	2
Tapis 2	59	21	1	1	18

Tapis 1: imbibé d'aminocarbe

Tapis 2: imbibé de fénitrothion

(a) : Hydrocarbures aliphatiques

(b) : Hydrocarbures cycliques aromatiques ou non

(c) : Phénols

(d) : Polycycles aromatiques

(e) : ingrédient actif

D'après LALIBERTE (1983)

CHAPITRE II - PROPOSITIONS POUR UNE POLITIQUE DE GESTION

II.1 Les contenants

Les opérations d'arrosage emploient des volumes considérables des différents ingrédients qui composent les préparations. Celles-ci sont élaborées sur les bases d'opérations à l'aide d'un système éprouvé. A l'issue de cette étape, un grand nombre de contenants d'insecticides chimiques et biologiques ont été vidés et doivent être éliminés. Il s'agit essentiellement de barils en métal et en plastique d'une capacité de 200 litres.

Une technique de rinçage particulière à été mise au point au M.E.R. dans le but de recycler les barils qui ont une certaine valeur économique. Le procédé consiste à effectuer un nettoyage du contenant en circuit fermé et respecte les mêmes exigences du triple rinçage. Le rinçage en circuit fermé ne s'applique qu'aux barils en métal et est approuvé par le ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ, communication personnelle, 1984). Les contenants d'insecticides biologiques, qui sont en plastique, subissent pour l'instant le triple rinçage.

En accord avec les directives du MENVIQ, la disposition des contenants d'insecticides est planifiée de la façon suivante (Fig. 21):

1- Rinçage des barils vides (triple rinçage ou circuit fermé)
2- Application des solutions de rinçage sur l'aire à traiter ou déjà traitée.
3- Recyclage des barils rincés, ou élimination dans un site.

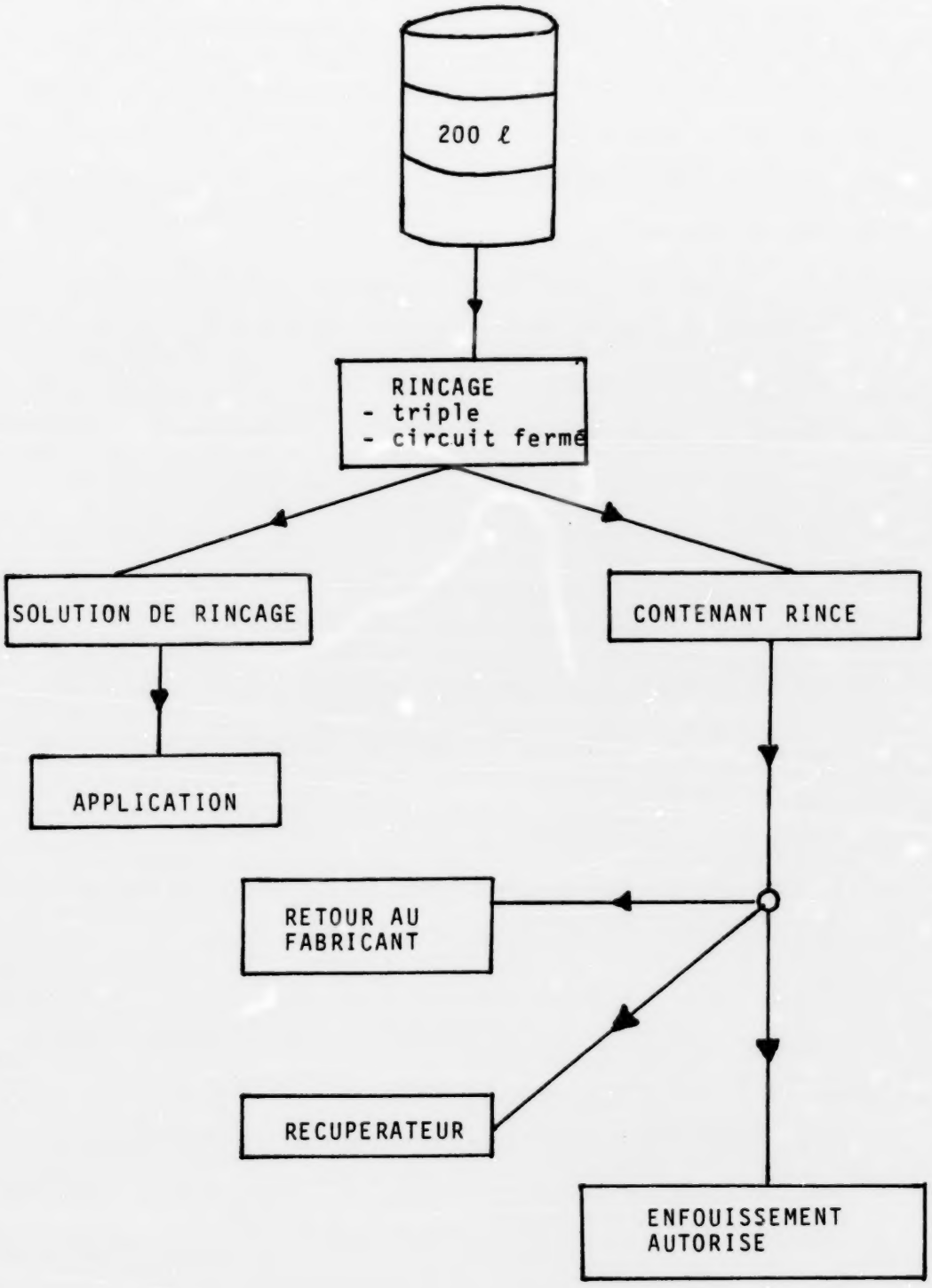


Figure 19: Dispositions des contenants vides et des solutions de rinçage.

II.2 Solutions à court terme

Il n'existe pas actuellement au Québec de centre de traitement pour les déchets organiques industriels, toxiques ou dangereux. Dans ces conditions, la réglementation québécoise n'offre d'autre alternative que le stockage des déchets jusqu'à la mise sur pied d'un procédé d'élimination satisfaisant. Le stockage des déchets doit se faire dans des contenants clairement identifiés et de façon sécuritaire pour l'homme et son environnement.

Toutefois, le stockage prolongé de ces produits présente des risques environnementaux potentiels qui nous entraînent à chercher des solutions provisoires à l'extérieur du Québec. Cette attitude est d'ailleurs adoptée par le ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick depuis plusieurs années. La Division des Déchets Dangereux de ce ministère a selectionné plusieurs compagnies ontariennes susceptibles de traiter les déchets dangereux produits au Nouveau-Brunswick, dont ceux générés par le programme de lutte contre la TBE dans cette province. La première compagnie, D & D de Smithville, assure le stockage en Ontario ou en Alberta, et le transport maritime en Angleterre où ils sont incinérés. La deuxième compagnie, Synthath/Allero Ltd (Thorold), sélectionne les déchets et les stocke avant de les faire incinérer par Tricil à Sarnia. L'entreprise possède son propre incinérateur, destiné seulement aux déchets pathogènes (température de combustion 1000°C). La dernière compagnie visitée, Tricil (Sarnia), dispose d'un incinérateur et d'un site d'enfouissement; les déchets contenant jusqu'à 2% d'halogènes sont acceptés. Tricil (Sarnia) Ltd a été choisie pour éliminer les déchets de pesticides du Nouveau-Brunwick (BROWNE, communication personnelle, 1984).

Une autre solution, pouvant s'apparenter à des mesures d'urgence, serait d'utiliser les services d'une compagnie possédant une unité mobile de traitement. Comme nous l'avons vu, plusieurs procédés d'élimination sont commercialisés sous cette forme. Par exemple, l'unité mobile du procédé Pyroplasma (conçue à Kingston, Ontario) est actuellement dans l'Etat de New-York aux Etats-Unis pour traiter sur place des déchets industriels, toxiques et dangereux (BARTON, communication personnelle, 1984). L'accumulation forcée de plusieurs millions de litres de déchets pourrait aussi contraindre leurs propriétaires à demander l'intervention d'un navire incinérateur dans la mesure où le volume des déchets liquides est suffisamment important. Cette alternative prendrait une dimension nationale comme cela fut le cas au Etats-Unis en 1975 (23).

II.3 Politique à long terme

Nous entendons par politique à long terme le choix d'un mode de gestion qui réponde de façon permanente au problème posé par l'élimination des déchets de pesticides. Cette politique est centrée sur le procédé de traitement qui est retenu suivant des critères d'efficacité, de rentabilité et de sécurité.

Le financement d'un centre traitant exclusivement des déchets de pesticides n'est pas réaliste, à court comme à long terme. Nous devrons parler désormais de centres d'élimination de déchets industriels, toxiques ou dangereux, qui répondent à la problématique de toute la province du Québec. Le ministère de l'Energie et des Ressources n'est pas en mesure de remplir ce mandat qui n'est pas le sien. Nous allons donc présenter des alternatives de gestion à l'échelle de la province en ayant soin de retenir les solutions qui semblent le mieux répondre aux objectifs du M.E.R.. Dans ce nouveau contexte, ces objectifs ne

pourront conserver la place prioritaire qu'ils occupaient auparavant.

En général, on s'intéressera à l'ensemble des déchets organiques toxiques. Une distinction est faite entre les méthodes capables de traiter les déchets solides et liquides et celles limitées aux déchets liquides qui, en conséquence, devront s'accompagner de pré-traitement.

Ainsi, nous proposons les options ci-dessous:

Pour les déchets solides/liquides,

1- incinérateur à four rotatif;

2- incinérateur à sels en fusion;

3- pyrolyseur;

4- plasma;

Pour les déchets liquides,

5- oxydation biophysique;

6- oxydation biochimique.

Option 1 - Incinérateur à four rotatif (Fig. 22)

C'est la solution qui a été retenue par le ministère de l'Environnement du Québec pour l'élimination des déchets organiques industriels ou toxiques. Le procédé respecte les critères de destruction exigés par la réglementation québécoise et est capable de traiter les déchets liquides et solides. Le bilan calorifique est positif et permet de commercialiser une certaine quantité d'énergie sous forme de vapeur ou d'électricité. Les eaux usées sont traitées sur place ou dirigées vers le réseau d'égout. Les cendres sont envoyées à un site d'enfouissement autorisé ou bien traitées par la compagnie STABLEX si nécessaire (procédé de solidification). Le traitement des émissions gazeuses demeure l'étape la plus délicate et semble freiner la réalisation du projet (4).

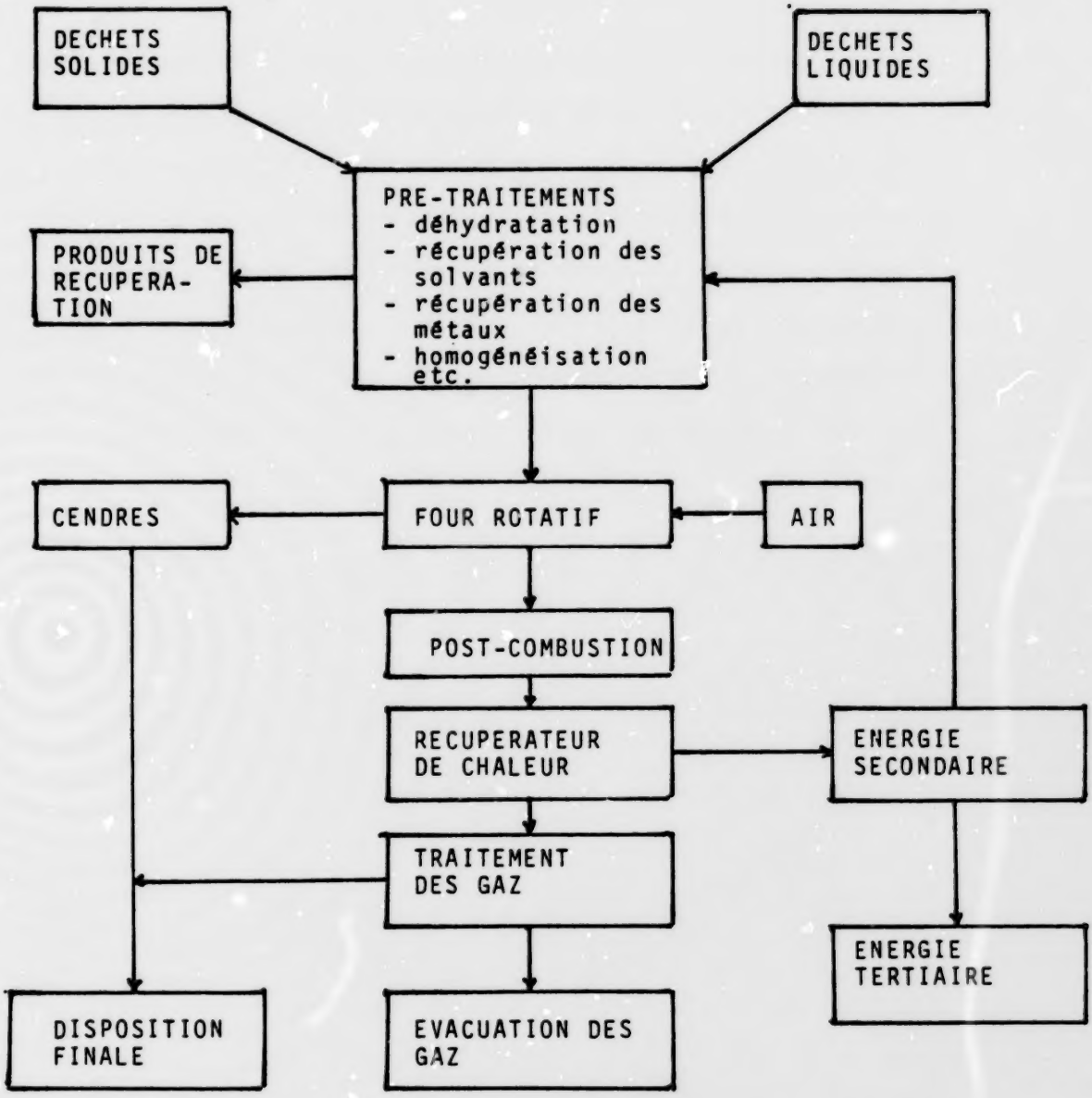


Figure 20: Option 1 - Incinérateur à four rotatif.

Option 2 - Incinérateur à sels en fusion (Fig. 23)

Malgré des coûts d'opération extrêmement élevés nous suggérons tout de même cette solution car elle est particulièrement bien adaptée aux déchets de pesticides tout en restant très efficaces pour détruire les déchets toxiques liquides et solides. Le procédé est aussi excédentaire du point de vue énergétique et offre en plus la possibilité de vendre le sous-produit KCl comme engrais chimique. La disposition finale des cendres est la même que précédemment. Le traitement des gaz de combustion se limite à un collecteur de particules.

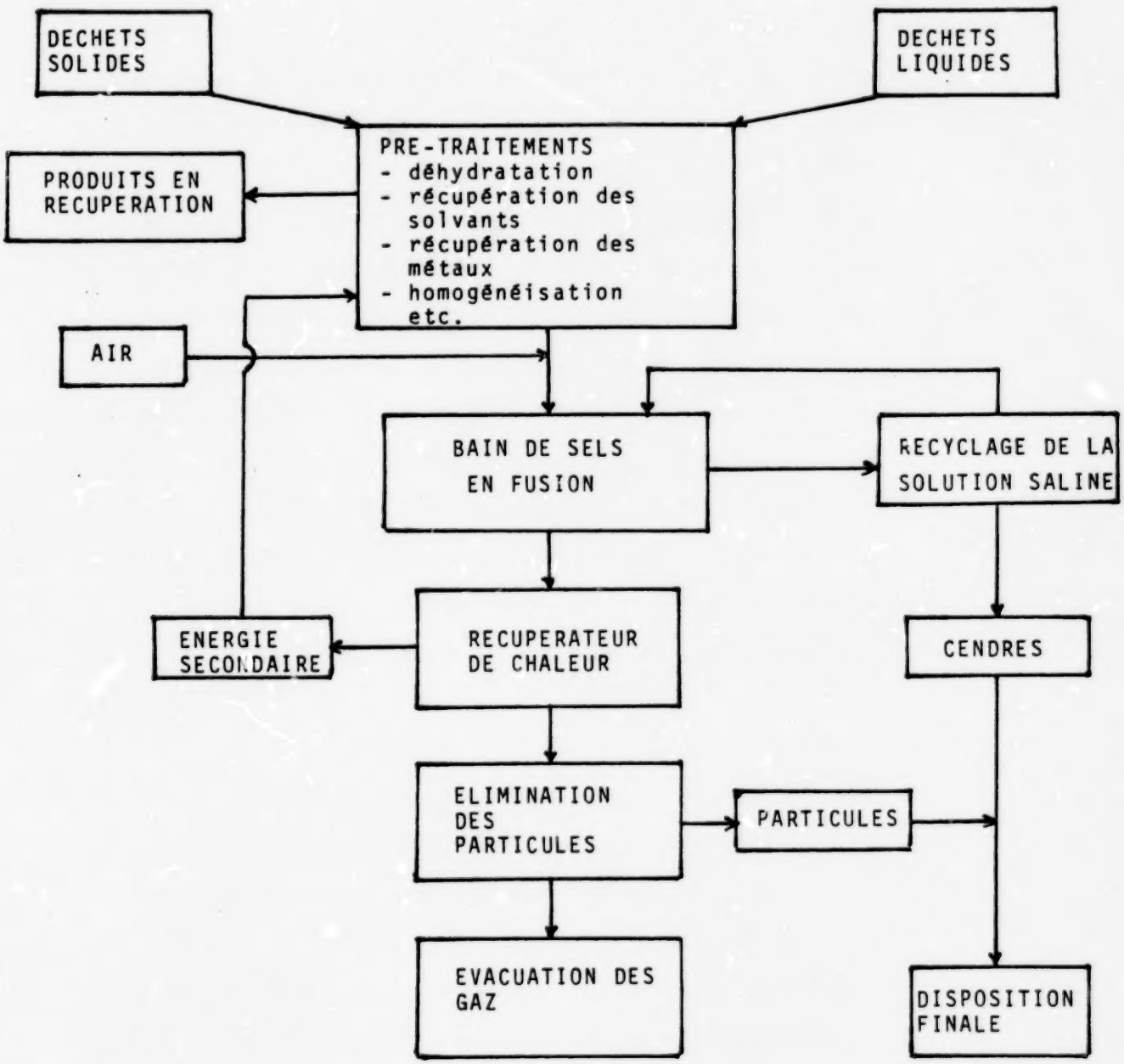


Figure 21: Option 2 - Incinérateur à sels en fusion.

Option 3 - Pyrolyseur (Fig. 24)

Généralement tournée vers les déchets domestiques ou industriels non-toxiques, la pyrolyse reste le traitement thermique le moins "violent". C'est aussi celui qui génère le plus de sous-produits à haute valeur ajoutée (charbon, hydrocarbures, combustibles gazeux ou liquides, alcools, etc...). L'énergie nécessaire au procédé est donc récupérée plusieurs fois. Le pyrolyseur ne produit pas de cendres mais des résidus organiques qui peuvent être ré-introduits dans le procédé ou bien facilement incinérés. L'épuration souvent complexe des fumées peut être assurée par un incinérateur qui en outre permettrait de récupérer une bonne part de l'énergie contenue dans ces fumées. Une fraction importante des déchets organiques toxiques pourrait donc être éliminée avec d'autres déchets domestiques, dans une municipalité dotée d'un procédé de pyrolyse.

Option 4 - Plasma (Fig. 25)

C'est sans doute le concurrent le plus sérieux des méthodes d'incinération citées avant. Cependant, le manque d'expertise dans ce domaine a semble-t-il empêché son apparition au Québec. L'efficacité de destruction des déchets toxiques par plasma est aussi bonne que celle d'un incinérateur à four rotatif, avec une récupération d'énergie tout aussi importante et une épuration des gaz de combustion plus simple. Enfin, les procédés au plasma trouveraient un terrain d'élection au Québec où l'énergie électrique est abondante et bon marché. Cette méthode d'élimination des déchets toxiques serait alors l'une des moins coûteuse.

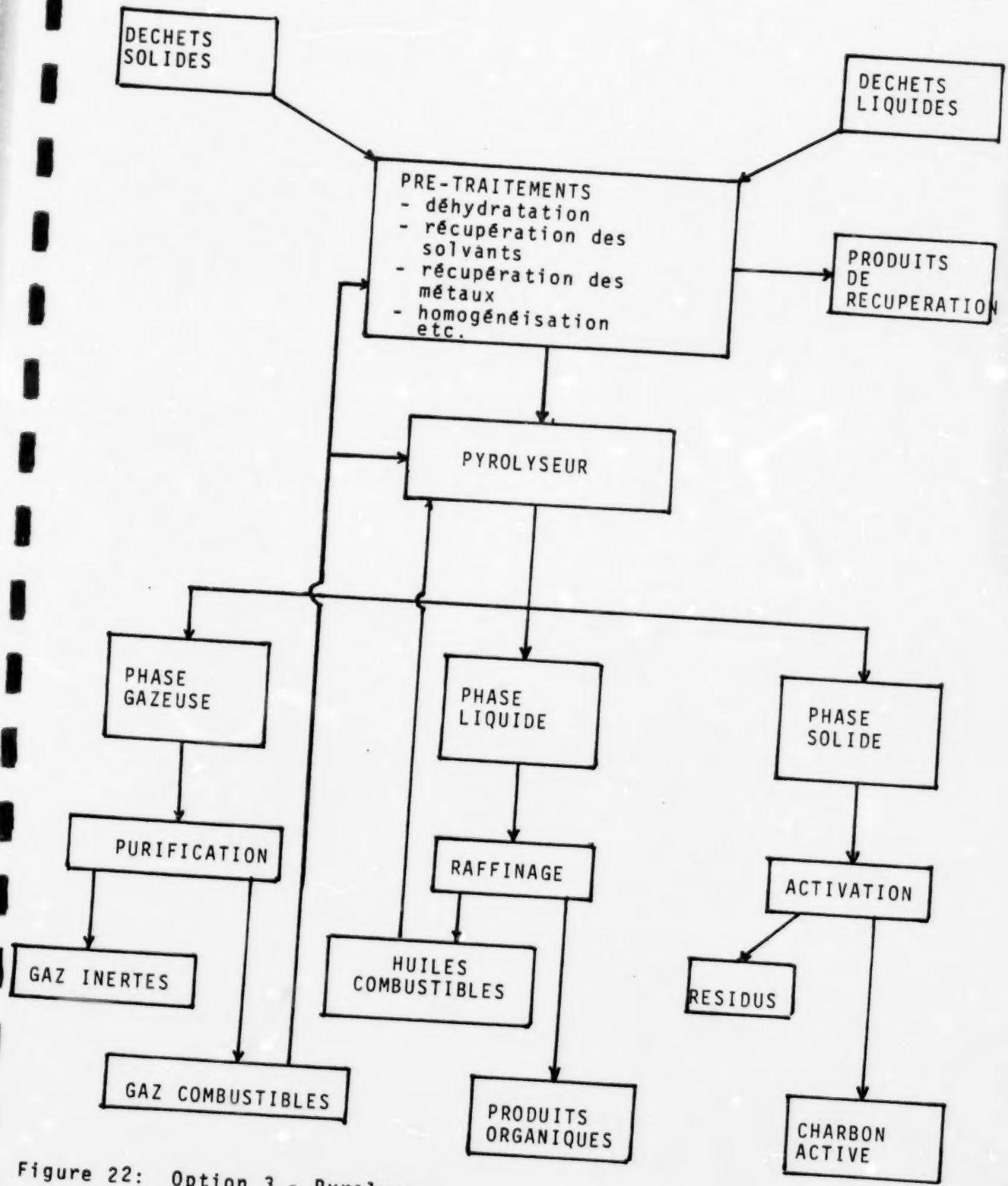


Figure 22: Option 3 - Pyrolyseur

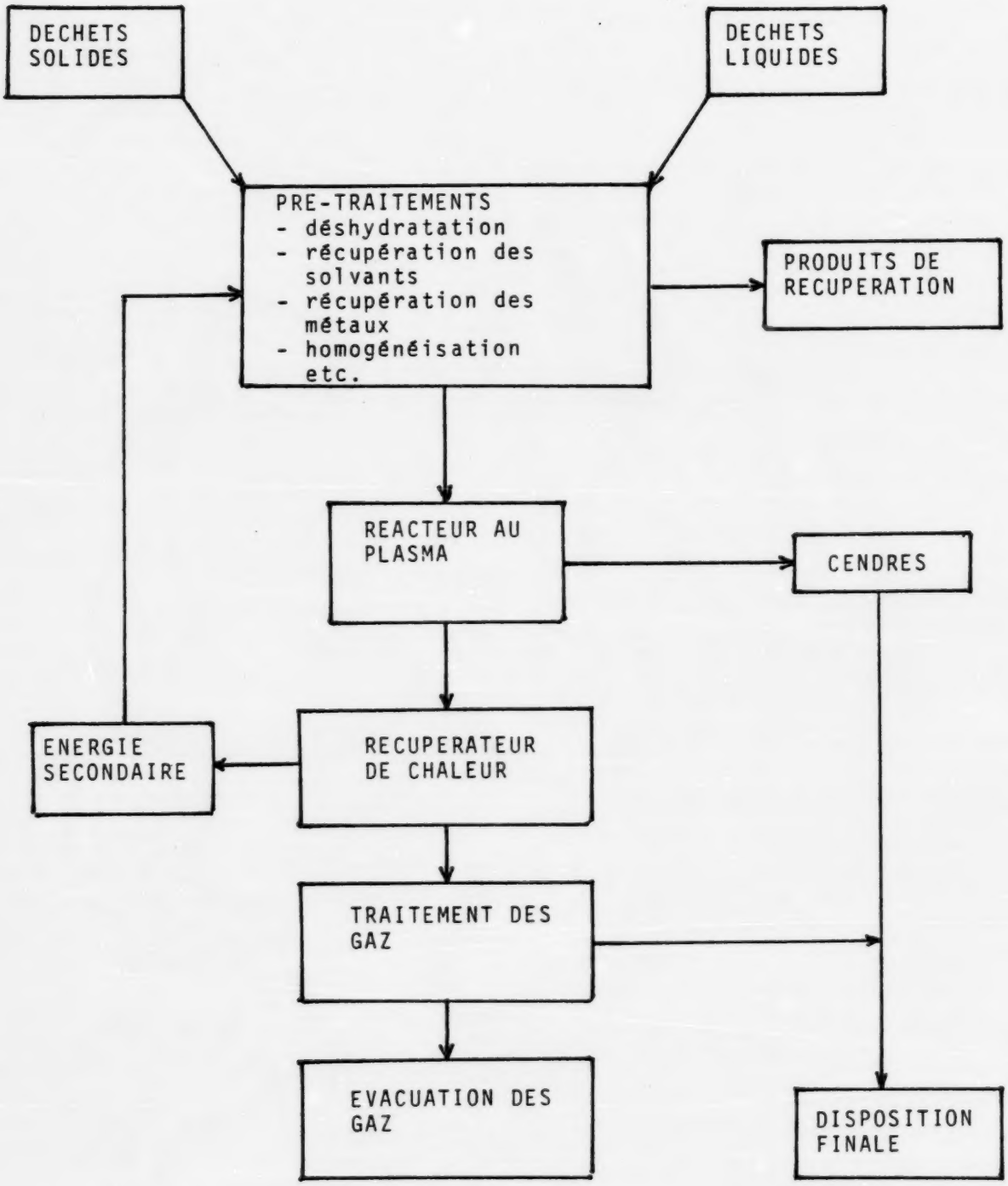


Figure 23: Option 4 - Plasma

Options 5 et 6 - Oxydation biophysique (Fig. 26) et oxydation biochimique (Fig. 27)

Nous avons fait ici une distinction plus théorique que réelle entre deux options dont le principe pourrait amener d'autres solutions semblables. Nous proposons finalement un procédé d'élimination en deux étapes: détoxication physico-chimique suivie d'une oxydation biologique.

Comme cette alternative ne s'applique qu'aux déchets liquides, une étape d'extraction est nécessaire pour récupérer en phase liquide les composés toxiques initialement sous forme solide. Dans le cas des tapis absorbants, une extraction mécanique ou hydraulique peut suffire; une extraction solide-liquide conviendrait pour des déchets mélangés à de la terre, du sable, de la tourbe, des granules, etc... La fraction solide, débarassée de ses produits toxiques, serait enfouie dans un site autorisé ou pourrait même être ré-utilisée dans le cas des matériaux absorbants.

Dans l'optique d'une gestion décentralisée, cette alternative pourrait s'inscrire, au niveau régional, dans le programme d'assainissement des eaux récemment entrepris au Québec. L'étape de détoxication permettrait ensuite de traiter ensemble effluents urbains et effluents industriels et toxiques.

D'autre part, la disposition finale des boues biologiques en excès n'est plus un problème aujourd'hui: digestion aérobie/anaérobie, épandage agricole, compostage, enfouissement sanitaire, etc...

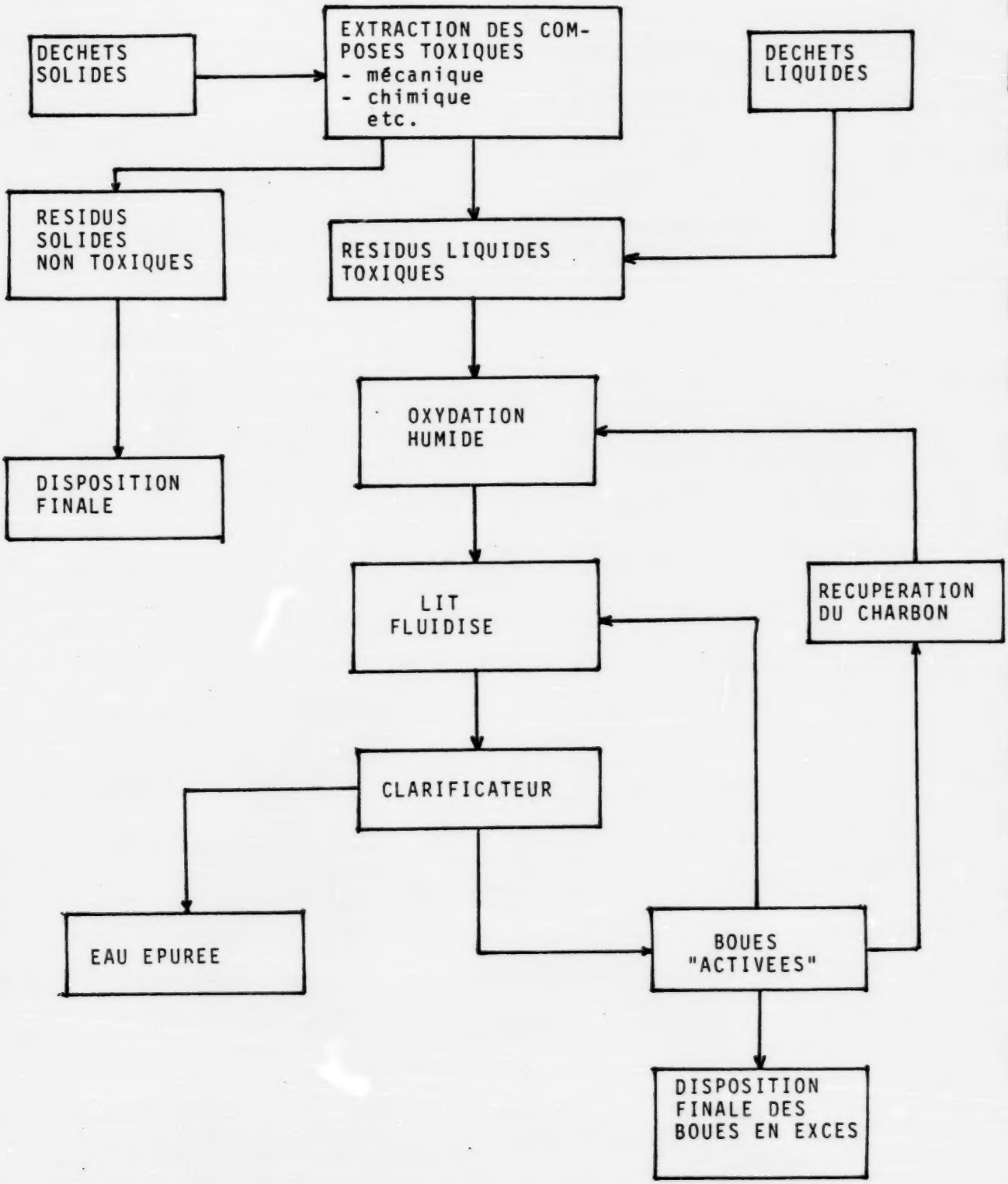


Figure 24: Option 5 - Oxydation biophysique.

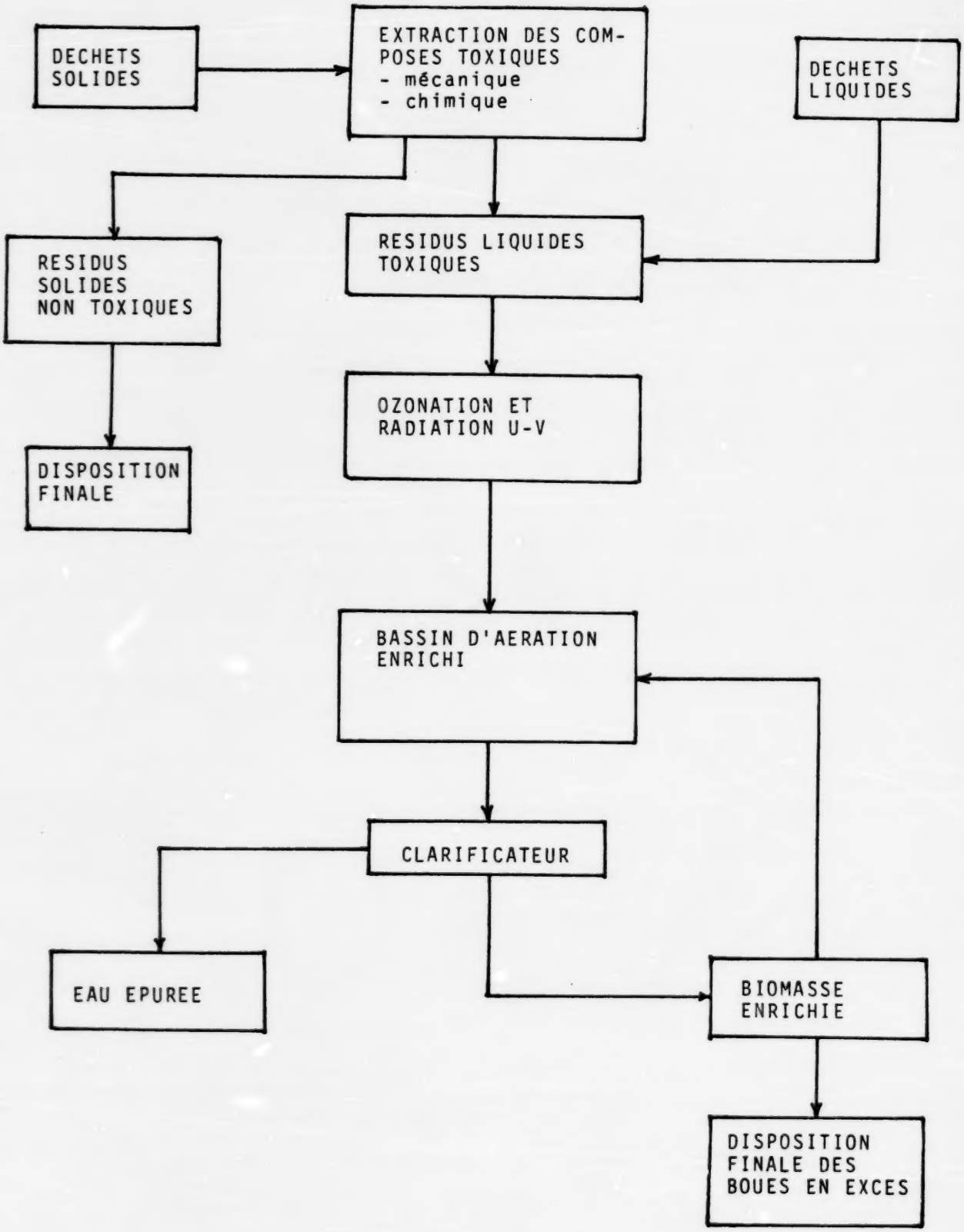


Figure 25: Option 6 - Oxydation biochimique

II.4 Elimination des déchets de B.t.

L'insecticide biologique Bacillus thuringiensis est sans doute amené à jouer un rôle de plus en plus important dans la luttre contre la TBE au Québec et ailleurs. Cette évolution pourrait grandement modifier la gestion des déchets engendrés par le programme telle que nous l'avons abordée jusqu'ici.

Quoi qu'il en soit, en l'absence de réglementation précise en la matière, l'interprétation de la Loi est la même pour les pesticides chimiques et biologiques. C'est donc l'article 20 de la Loi sur la qualité de l'environnement qui s'applique (cf. page 7). Les déchets de B.t. doivent donc être conservés de façon sécuritaire jusqu'à ce qu'un processus d'élimination soit approuvé par le MENVIQ. Jusque là nous pouvons à nouveau soumettre des éléments de réponses qui contribueront à l'implantation de telles mesures.

Nous devons auparavant passer rapidement en revue les paramètres qui conditionnent la décision finale. En premier lieu, il apparaît que le B.t. ne peut entraîner d'effets nocifs sur la santé humaine car il est rapidement éliminé de l'organisme sans être activé entre temps. L'ingrédient actif (cristal) est dénaturé dans l'estomac humain où le pH est trop bas. Des volontaires ayant absorbé un gramme de Thuricide, pendant 3 à 5 jours, n'ont montré aucun symptôme de maladie. Les recherches faites avec la variété kurstaki indiquent que le B.t. et les préparations (Dipel, Thuricide, Futura) sont non-toxiques et non-pathogènes pour les vertébrés. D'un autre côté à part les espèces de l'ordre des lépidoptères, très peu d'insectes non-visés sont

reconnus comme étant susceptibles au B.t.. A l'inverse de certains produits chimiques tels que le D.D.T., les spores et les cristaux sont dégradés par les processus écologiques naturels et ne persistent donc pas dans l'environnement. Cependant, cette dégradation semble plus rapide sur la végétation que dans le sol où le B.t. est pourtant un mauvais compétiteur. Aucun cas de bioaccumulation n'a encore été relevé suite à des pulvérisations répétées de l'insecticide. Enfin, le potentiel de mutation chez Bacillus thuringiensis n'a été observé qu'en laboratoire, dans des conditions extrêmes. La variété commerciale kurstaki a montré une stabilité génétique remarquable (1).

Maintenant, la seule information concernant la disposition des déchets de B.t. nous provient des Etats-Unis. Comme nous l'avons vu dans la première partie, l'enfouissement est accepté là-bas comme mode d'élimination; certains Etats exigent qu'il ait lieu dans des sites spécialement prévus à cet effet (catégorie I), alors que d'autres le tolèrent dans des sites municipaux (enfouissement sanitaire). En outre, nous pensons que deux autres solutions donnent suffisamment de garanties pour éliminer ce genre de déchets: l'incinération avec des déchets domestiques dans une installation municipale (déchets solides ou liquides) et le traitement des déchets liquides par une station d'épuration biologique des eaux usées municipales. Le choix de l'une ou l'autre de ces méthodes devrait plutôt dépendre des caractéristiques physico-chimiques du déchet telles que sa combustibilité, sa viscosité, sa DBO et sa DCO, etc... Enfin, il est évident que quel que soit le mode de gestion envisagé pour détruire les déchets industriels, toxiques ou dangereux, celui-ci permettra à fortiori l'élimination de n'importe quel pesticide biologique.

CONCLUSION

Nous avons dégagé finalement deux types de gestion qui sont illustrés à la Figure 28. Le premier est axé sur un mode d'élimination thermique en une seule étape, alors que le dernier passe par une phase de détoxication précédant une étape d'oxydation biologique. Le procédé de pyrolyse se distingue de l'option thermique ainsi schématisée puisqu'il s'agit d'une décomposition thermique en l'absence d'oxygène.

Quoi qu'il en soit, le lecteur aura pu se rendre compte du plus grand crédit qui est généralement accordé aux procédés thermiques et en particulier à l'incinération, en dépit des contraintes financières dont nous avons parlées. La destruction de déchets dangereux par la chaleur est depuis longtemps privilégiée et en conséquence bénéficie d'une solide expérience sur la question. Ainsi, deux solutions prometteuses, à nos yeux, seraient la technologie du plasma et la pyrolyse qui est de loin la plus méritante en ces temps de crise énergétique.

Cependant, nous avons vu que l'option thermique n'offre pas la panacée et qu'il est légitime d'envisager d'autres solutions faisant appel à une technologie moins violente et tout aussi efficace. Bien que ce deuxième type de gestion soit encore relativement peu développé, il serait pleinement justifié de l'introduire au Québec dans le cadre du programme d'assainissement des eaux comme nous l'avons déjà mentionné. Une étape de détoxication serait mise en place en aval de plusieurs stations d'épuration localisées dans les zones industrialisées de la province. Cette gestion décentralisée, orchestrée par les Directions régionales concernées, diminuerait considérablement les risques inhérents aux transports des déchets dangereux.

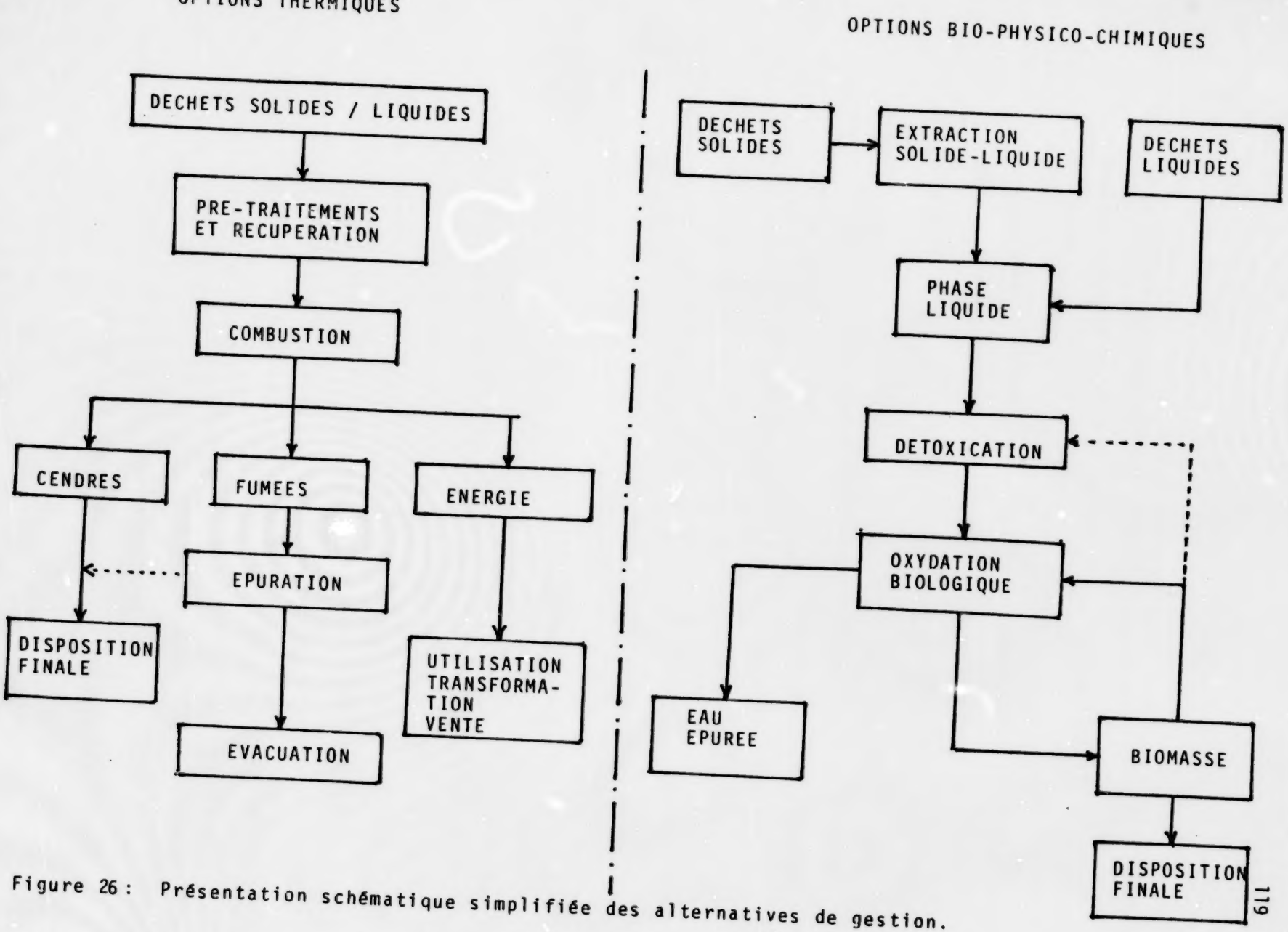


Figure 26 : Présentation schématique simplifiée des alternatives de gestion.

CONCLUSION GENERALE

Le législateur québécois a établi une réglementation très stricte concernant l'élimination des déchets toxiques ou dangereux, qu'il n'est pas nécessaire de justifier ici. Les pouvoirs publics ont décidé de donner à la province les moyens pour enrayer l'une des plus importantes sources de pollution de notre temps. La réalisation de cette politique se heurte à des contraintes techniques et économiques qui ralentissent sa mise en oeuvre. Cette situation oblige actuellement les producteurs de déchets à stocker ces derniers jusqu'à la mise en place d'un mode de gestion satisfaisant.

Les solutions techniques les plus efficaces en matière d'élimination de déchets de pesticides sont celles utilisées pour les déchets organiques toxiques ou dangereux. Une plus grande confiance est attribuée aux traitements thermiques, en particulier à l'incinération. La technologie du plasma et les procédés de pyrolyse pourraient jouer aussi un rôle important à l'avenir. Parmi les traitements physico-chimiques, les procédés d'oxydation humide et d'ozonation couplée aux radiations dans l'ultra-violet ont montré de bons résultats, mais demeurent insuffisants lorsqu'ils sont utilisés seuls. Certains procédés biologiques permettent de détoxiquer et dégrader des déchets toxiques dont les pesticides mais de façon très spécifique, et parfois avec des moyens trop sophistiqués pour ce genre de substrats. Les techniques d'utilisation du sol et du sous-sol, longtemps privilégiées en raison des coûts d'exploitation peu élevés, ne répondent plus aux exigences environnementales en vigueur dans les pays industrialisés. Si l'enfouissement est encore toléré aux Etats-Unis dans des conditions particulières, la réglementation québécoise, quant à elle, ne permet pas

d'enfouir des déchets toxiques dans la province.

Dans ce contexte, l'action du ministère de l'Energie et des Ressources du Québec est relativement limitée. A court terme, on devra envisager le transport des déchets de pesticides dans une province ou un pays qui possède un centre d'élimination. Les services d'une unité mobile de traitement pourraient aussi être demandés. Cette alternative, plus coûteuse, s'apparente d'avantage à des mesures d'urgence et ne résoudra le problème que provisoirement. Un programme de recherches et développements (R & D) devrait être engagé en collaboration avec les milieux industriels et universitaires afin de combler le manque d'expertise du Québec dans ce domaine.

L'accent devra être mis sur les techniques du plasma et de la pyrolyse qui sont en plein essor dans la province. Nous pensons qu'à plus long terme l'élimination des déchets de pesticides fera partie d'une politique de gestion globale des déchets dangereux au Québec. Les propositions que nous avons faites dans ce sens répondent aux préoccupations du ministère de l'Environnement du Québec qui est le véritable responsable de ce programme. Enfin, l'élimination des déchets d'insecticide biologique devrait être abordée différemment. Nous pensons que la recherche de solutions doit se diriger vers des techniques d'élimination plus douces.

ANNEXES

ANNEXE I.1

FACTEURS DE CONVERSION DOLLARS U-S EN DOLLARS CANADIENS

ANNEE	TAUX (1 $U-S X $CAN)
31 décembre 1972	0.99
1973	0.996
1974	0.9906
1975	1.016
1976	1.0088
1977	1.094
1978	1.1858
1979	1.1666
1980	1.1938
1981	1.1855
1982	1.2288
1983	1.2444
31 avril 1984	1.2877

D'après la Revue de la Banque du Canada.

ANNEXE I.2

INDICES DES PRIX A LA CONSOMMATION POUR LE CANADA

ANNEE	INDICE	
31 juin 1984	122.2 (par rapport à 1981)	
31 décembre 1983	119.6	
1982	114.4	
1981	104.7	
1980	93.4	221.3 (par rapport à 1971)
1979		199.0
1978		181.3
1977		167.2
1976		152.7
1975		144.3
1974		131.8
1973		117.2
1972		107.4

L'année de base est la première de chaque décennie (par exemple, le 30 juin de l'année 1981, l'indice des prix à la consommation a été ramené à 100).

D'après Statistiques Canada.

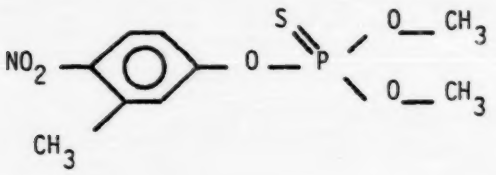
PREPARATIONS DES TRAITEMENTS OPERATIONNELS

PRODUIT	DOSE	VOLUME	PRÉPARATION			
TRAITEMENTS CHIMIQUES:			**Insecticide**	**CycloSol 63**	**Diluant 585**	**Colorant**
MATACIL 180D 180F	52 g	1,4ℓ/ha	20,8%	-	78,7%	0,5%
FÉNITROTHION	210 g	1,4 ℓ/ha	11,3%	40%	48,2%	0,5%
TRAITEMENTS BIOLOGIQUES:			**Insecticide**	**Sorbitol**	**Eau**	**Chevron sticker**
THURICIDE 32LV	20MUI/ha	4,68 ℓ/ha	50%	20%	30%	1/1600
FUTURA^{MD}	20MUI/ha	2,5 ℓ/ha	60%	-	40%	1/1600
DIPEL 88	20MUI/ha	5,85 ℓ/ha	40%	-	60%	1/1600
THURICIDE 48LV	30MUI/ha	2,37 ℓ/ha	100%	-	-	

(MUI: Milliards d'Unités Internationales)

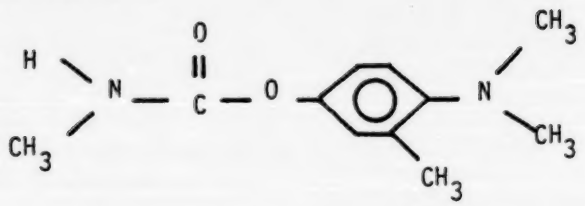
ANNEXE III.1

FENITROTHION

Classe d'insecticide:	organophosphoré (phosphorothioate)
Formule empirique:	$C_9 H_{12} O_5 NSP$
Formule développée:	
Apparence:	liquide huileux jaune-brun
Poids moléculaire:	277.24
Viscosité:	20.81 g/cm/sec à 30°C
Point d'ébullition:	97°C à 0.04 mm Hg
	140-145°C à 0.1 m Hg
Point de fusion:	0.3°C
Densité:	1.32-1.34 g/ml
Solubilité:	Soluble dans l'alcool, les cellosolvants, les esters, l'éther, les cétones, les hydrocarbures et les huiles végétales. Très peu soluble dans l'eau (20 à 30 ppm).
Noms commerciaux:	Sumithion, Folithion, Novathion, Accothion, Métathion, Méthylnitrophos, Cytel, Cyfen, E-50.

ANNEXE III.2

AMINOCARBE

Classe d'insecticide:	Carbamate
Formule empirique:	$C_{11}\ H_{16}\ N_2\ O_2$
Formule développée:	
Apparence:	Solide cristallin de couleur or
Poids moléculaire:	208.86
Tension de vapeur:	10^{-4} millibar à 20°C
Point d'ébullition:	93 à 94°C
Solubilité:	Solubilité dans l'eau de 2,000 ppm à 20°C Peu soluble dans les solvants aromatiques Soluble dans la plupart des solvants organiques polaires.
Noms commerciaux:	Matacil (180D - 180F), A-363, Bay-44646, Ent-25784

ANNEXE III.3

NONYL PHENOL

Utilisé comme diluant, agent dispersant et anti-oxydant dans la préparation du MATACIL 180D.

Classe chimique:	monoalkyl phénol à prédominance parasubstitué.
Formule empirique:	C_{15} H_{24} O
Apparence:	clair, visqueux
Poids moléculaire:	220.39
Point d'ébullition:	295°C
Viscosité:	600 centipoises à 20°C
Solubilité:	soluble dans le benzène, les solvants chlorés, aniline, heptane, alcool, ethylène glycol. Insoluble dans l'eau.

ANNEXE III.4

CYCLO SOL 63

Utilisé comme solvant (insecticides chimiques).

Classe chimique:	hydrocarbures aromatiques
Apparence:	liquide incolore
Point d'ébullition:	179.2°C
Viscosité:	1.5 centipoises à 37.8°C
Tension de vapeur:	0.07 mm Hg
Densité:	0.887 g/ml

DILUANT 585

Mélange d'hydrocarbures de la série C_{10}-C_{20}

Hydrocarbures aromatiques:	20-30 % vol.
Soufre:	maximum 0.25% en poids
Mercaptans:	maximum 10 ppm en poids
Apparence:	liquide clair
Solubilité:	insoluble dans l'eau.

AUTOMATE RED B

Utilisé comme colorant

Apparence et odeur:	rouge, odeur de solvant aromatique
Tension de vapeur:	10 mm Hg à 28°C
Point d'ébullition:	138°C
Densité:	0.99 - 1.02 g/ml
Solubilité:	Insoluble dans l'eau

ANNEXE III.5

Bacillus thuringiensis, var. Kurstaki

Organisme:	bactérie
Genre:	bacillus
Espèce:	Bacillus thuringiensis
Gram:	positif
Mode respiratoire:	aérobie
Noms commerciaux:	Bactospéine, Dipel, Futura
	Thuricide

Composition moyenne des préparations commerciales:

Ingrédients actifs	2 à 15%
Ingrédients inertes	85 à 98%, comprenant généralement eau, sorbitol, colorant alimentaire, etc.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages cités

1- ANDRE MARSAN ET ASSOCIES, (Avril 1984), Evaluation socio-environnementale et économique, Programme de pulvérisatioin contre la Tordeuse des bourgeons de l'épinette, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Dossier No.35660, LAVALIN, Montréal.

2- ATKINS, P.R., (1972), "The pesticide manufacturing industry - Current waste treatment and disposal practices", EPA Water Pollution Control Research Series 12020 FYE.

3- BAILIN, L.J., HERTZLER, B. L and OBERACKER, D.A., (1978). "Detoxification of pesticides and hazardous wastes by the microwave plasma process", American Chemical Society Symposium Series, No. 73, 49-73.

4- BARTER, J., (Avril 1984). Incinération et recyclage des déchets industriels dangereux chez SERDOQ, 1er colloque sur les substances toxiques, Montréal.

5- BARTON, T.G., DOBSON, R.L. and ARSENAULT, G.P., (1979), "Destruction of polychlorinated biphenyls by plasma arc pyrolysis", 1 st National Conference On Canadian Solid Wastes, Winnipeg, 1-6.

6- BURGES, H.D. (1981), Microbial control of pest and plant diseases 1970-1980, Academic Press, London, 763 p.

7- CADOTTE, A.P. and LAUGHLIN, R.G.W., (July 1978), "The WETOX (R) process for industrial waste treatment", Proc. Int. Symp., University of Waterloo, 157-172.

8- DILLON, A.P., (1981), Pesticide disposal and detoxification Processes and techniques, Noyes Data Corporation, Park Ridge, 587 p.

9- EPSTEIN, E., and ALPERT, J.E., (1979), "Composting of industrial wastes", in Toxic and hazardous waste disposal, V4, No. 15, Ann Arbor Sciences, New-York, 243-253.

10- GHASSEMI, M., QUINLIVAN, S.C. and DAY, H.R., (December 1976), "Landfill for pesticide waste disposal", Environmental Science and Technology, V10, No. 13, 1209-1214.

11- Gouvernement du Canada, (1977), L'utilisation et la règlementation des pesticides au Canada, Document préparé pour la réunion du Conseil Canadien des Ministres des Ressources et de l'Environnement, les 1er et 2 juin 1977.

12- Gouvernement du Québec, (1983), Rapport d'enquête et d'audience publique sur le programme de pulvérisations aériennes contre la Tordeuse des bourgeons de l'épinette, Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, Sainte-Foy. 105 p.

13- HACKMAN III, E.E., (1976), Toxic organic chemicals: destruction and waste treatments, Noyes Data Corporation, Park Ridge, 148-173.

14- HALEBSKY, M., (1979), "Ocean incineration of toxic chemical wastes", in Toxic and hazardous waste disposal, V4, No. 13, Ann Arbor Sciences, New-York, 175-227.

15- KENNEDY, M.V., STOJANOVIC, B.J. and SHUMAN Jr, F.L., (1969),"Chemical and thermal methods for disposal of pesticides", Residue Reviews, V29, 89-104.

16- LALIBERTE, C. (septembre 1983), Analyse qualitative complète par GC-MS, recherche et quantification de dioxine d'échantillons de mélanges d'insecticides et de tapis absorbants, INRS-Santé, Québec, 8 p.

17- LAWLESS, E.W. et al., (1975), Guidelines for the disposal of small quantities of unused pesticides, EPA-670/2-75-057.

18- LEWIS, C.R., EDWARDS, R.E. and SANTORO, M.A., (1980), "Incineration of industrial wastes", Industrial wastewater and solid waste engineering, Chemical Engineering Magazine, 325-331.

19- LUE-HING, C. and BRADY, S.D., (1969), "Biological treatment of organic phosphorus pesticide waste-waters", Industrial Waste Conferences, V23, Ann Arbor Sciences, Purdue University, 1166-1177.

20- MUNNECKE, D.M., (1979), "Chemical, physical and biological methods for the disposal and detoxification of pesticides", Residue Reviews, V70, 1-26.

21- MUNNECKE, D.M., (1978), "Detoxification of pesticides using soluble or immobilised enzymes", Process chemistry, V13, No. 2, 14-18.

22- O.C.D.E., (1976), Règlementation concernant la présence de composés chimiques dans l'environnement contrôlés avant et après commercialisation, Direction de l'environnement, PARIS.

23- POWERS, P.W., (1976), How to dispose of toxic substances and industrial wastes, Noyes Data Corporation, Park Ridge, 497 p.

24- SHIH, C.C. and DAL PORTO, D.F., (1975), Handbook for pesticide disposal by common chemical methods, EPA/530/SW-112 C.

25- WILHELMI, A.R. and ELY, R.B., (1980), "A two-step process for toxic wastewater", Industrial wastewater and solid waste engineering, Chemical Engineering Magazine, 139-143.

26- YOSIM, S.J., BARCLAY, K.M. and GRANTHAM, L.F., (1978), "Destruction of pesticides and pesticide containers by molten salt combustion", American chemical Society Symposium Series, No. 73, 118-130.

27- ZELTNER, K.A., (1983), "Pyrolytic processing of organic wastes", Industrial Waste Conferences, Ann Arbor Science, Purdue University, 21-28.

Ouvrages consultés

28- BERNARDIN, F.E., (1980), "Selecting and specifying activated carbon adsorption systems", Industrial wastewater and solid waste engineering, Chemical Engineering Magazine, 127-132.

29- HEMMETT, R.B., FAUST, S.D., (1969), "Biodegradation kinetics of 2,4-D acid by aquatic microorganisms", Residue Reviews, V29, 191-207.

30- JACKSON, M.D. and SOILEAU, D.D., (1981), "A one step derivatization procedure for several carbamate pesticides", Bull. Environn. Contam. Toxicol, V26, No. 1.

31- JUNK, G.A. and RICHARD, J.J., (April 1981), "Anion exchange isolation and identification of degradation products from pesticide disposal pits", Water Quality Bulletin, V6, No. 2, 40-45.

32- JOHNSON, L.M. and HARTMAN, P.A., (September 1980), "Microbiology of a pesticide disposal pit", Bull. Environm. Contam. Toxicol., V25, No. 3, 448-455.

33- KENNEDY, M.V., SHUMAN, F.L. and STOJANOVIC, B.J., (1972), "Engineering aspects of pesticide disposal". Journal of Environmental Quality, V1, No. 1, 66-71.

34- KENNEDY, M.V., SHUMAN, F.L. and STOJANOVIC, B.J., (1972), "Chemical and thermal aspects of pesticide disposal", Journal of Environmental Quality, V1, No. 1, 63-65.

35- KENNEDY, M.V., SHUMAN, F.L. and STOJANOVIC, B.J., (1972), "Edaphic aspects of pesticide disposal", Journal of Environmental Quality, V1, No. 1, 54-62.

36- KNOWLES, C.O. and BENEZET, M.J., (1981), "Microbial degradation of the carbamate pesticides Desmedipham, Phenmediphan, Promecarb and Propamocarb", Bull. Environm. Contam. Toxicol., V27, No. 4, 529-533.

37- KOHN, G.K., (1979), "Bioassay as a monitoring tool", Residue Reviews, V76, 99-129.

38- LINDSEY, A.W., (1980), "Ultimate disposal of spilled hazardous materials", Industrial wastewater and solid waste engineering, Chemical Engineering Magazine, 348-355.

39- LIU, D. THOMSON, K. and STRACHAN W.M.J., (1981), "Biodegradation of pentachlorophenol in a simulated aquatic environment", Bull. Environm. Contam. Toxicol., V26, No. 1, 85-90.

40- PEMBERTON, J.M. (1981), "Genetic engineering and biological detoxification of environmental pollutants", Residue Reviews, V78, 1-11.

41- PLIMMER, J.R., (1978), "Approaches to decontamination or disposal of pesticides: Photodecomposition", American Chemical Society Symposium Series, No. 73, 13-24.

42- RIZZO, J.L. and SHEPHERD, A.R., (1980), "Treating industrial wastewater with activated carbon", Industrial wastewater and solid waste engineering, Chemical Engineering Magazine, 133-138.

43- ROBINSON, J.S., (1979), Hazardous chemical spill cleanup, Noyes Data Corporation, Park Ridge, 729 p.

44- ROGERS, C.I., (March 1978), "Developing practical methods for controlling excess pesticides", EPA-600/9-78-016, 405-408.

45- WILLIAMS, P.P., (1977), "Metabolism of synthetic organic pesticides by anaerobic microorganisms", Residue Reviews, V66, 63-123.

46- WOOD, K.N., HUNT, O.R. and ANDERSON, J.J., (1983), "Carbon treatment of pesticide wastewaters in light of best available technology effluent limitation guidelines", Industrial Waste Conferences, Ann Arbor Science, Purdue University, 451-463.